



UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
COLOMBIA (1867-2017)



## GUÍA ASTRONÓMICA

Por: Gonzalo Duque-Escobar

Manizales, 2020.

<http://www.bdigital.unal.edu.co/1700>

Imagen del OBSERVATORIO ASTRONÓMICO DE  
MANIZALES – OAM y el Sabio Caldas. Composición de la  
Diseñadora Visual Carolina Calderón Franco  
<http://oam.manizales.unal.edu.co>

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

SEDE MANIZALES



## GUÍA ASTRONÓMICA

### CONTENIDO PRESENTACION

PAG

13

### GUÍA N° 1. HISTORIA DE LA ASTRONOMÍA

19

- 1.1. BABILONIA
- 1.2. EGIPTO
- 1.3. CHINA
- 1.4. CENTROAMERICA Y PERÚ

- 1.5. GRECIA
- 1.6. EDAD MEDIA
- 1.7. EL RENACIMIENTO
- 1.8. LA ASTRONOMIA MODERNA Y CONTEMPORANEA
- 1.9. GALILEO: EL CONFLICTO ENTRE LA RAZON Y EL PODER
- 1.10. NEWTON, EINSTEIN Y HAWKING
- 1.11. MÁS ALLÁ DE LAS PROFESÍAS MAYAS
- 1.12. CIENCIAS AEROESPACIALES EN COLOMBIA

GUÍA N° 2. COORDENADAS ASTRONÓMICAS

57

- 2.1. LA ESFERA CELESTE
- 2.2. ELEMENTOS DE POSICION
- 2.3. COORDENADAS ASTRONOMICAS
- 2.4. TRIANGULO POLO CENTIT ASTRO
- 2.5. ALGUNOS OBJETOS NOTABLES DEL CIELO
- 2.6. PROBLEMA “ALEPH”

GUÍA N° 3. ELEMENTOS DE MECÁNICA PLANETARIA

98

- 3.1. CONFIGURACIONES LANETARIAS
- 3.2. VALORES PARA LAS CONFIGURACIONES DE LOS PLANETAS
- 3.3. LEYES DE KEPLER
- 3.4. ELEMENTOS DE LAS ÓRBITAS PLANETARIAS
- 3.5. ECLIPSES DE SOL Y DE LUNA
- 3.6. LEY DE LA GRAVITACIÓN
- 3.7. ROTACIÓN DE DOS CUERPOS ALREDEDOR DE UN CENTRO DE MASA
- 3.8. VELOCIDAD ORBITAL
- 3.9. EJEMPLOS DE TRANSITOS PLANETARIOS
- 3.10. AGENDA DE ECLIPSES DEL 2019 Y 2020-
- 3.11. ESTRELLA E BELÉN 2020.

GUÍA N° 4. TIEMPO Y CALENDARIOS

118

- 4.1. EL TIEMPO
- 4.2. LAS FLECHAS DEL TIEMPO
- 4.3. UNA REFERENCIA EN EL CIELO
- 4.4. ECUACION DE TIEMPO
- 4.5. CALENDARIOS
- 4.6. PERIODO ENTRE DOS CONFIGURACIONES HOMONIMAS
- 4.7. CICLOS NOTABLES Y MOVIMIENTOS DE LA TIERRA Y LA LUNA
- 4.8. SIGNIFICADO DE UN BICUESTO
- 4.9. EL REMOTO PASADO DE NUESTRO MUNDO

GUÍA N° 5. EL SISTEMA SOLAR

141

- 5.1. SISTEMA SOLAR
- 5.2. EL SOL
- 5.3. LOS PLANETAS
- 5.4. ASTEROIDES
- 5.5. LOS COMETAS
- 5.6. CARACTERISTICAS DE LOS PLANETAS DEL S. SOLAR
- 5.7. CARACTERISTICAS DE LAS LUNAS PRINCIPALES
- 5.8. ASTEROIDES ACECHANDO LA TIERRA
- 5.9. ANTROPOCENO... CONCEPTO CULTURAL O GEOLOGICO

GUÍA N° 6. SOL, LUNAS Y PLANETAS

183

- 6.1. TEORÍAS ACERCA DE LA FORMACIÓN DEL SISTEMA SOLAR
- 6.2. ESTRUCTURA DE LOS PLANETAS DEL SISTEMA SOLAR
- 6.3. ESTRUCTURA DE LAS PRINCIPALES LUNAS
- 6.4. TOPOGRAFÍA DE LA LUNA.

- 6.5 IMÁGENES DE NUESTRAS LUNAS
- 6.6 EXOPLANETAS
- 6.7 PLANETAS HABITABLES
- 6.8 CINCUENTA AÑOS DE LA LLEGADA DEL HOMBRE A LA LUNA
- 6.9 PRIMER ALUNIZAJE EN LA CARA OCULTA DE LA LUNA
- 6.10 JUNO AUSCULTARÍA EN JÚPITER ORIGEN DEL S. SOLAR

GUÍA N° 7. COSMOGRAFIA

219

- 7.1. CONSTELACIONES Y ESTRELLAS DE LA REGION NORTE
- 7.2. EL CIELO DE SEPTIEMBRE
- 7.3. EL CIELO DE NOVIEMBRE
- 7.4. EL CIELO DE ENERO
- 7.5. EL CIELO DE MARZO
- 7.6. EL CIELO DE MAYO
- 7.7. EL CIELO DE JULIO
- 7.8. CONSTELACIONES Y ESTRELLAS DE LA REGION SUR
- 7.9. CONSTELACIONES DEL ZODÍACO
- 7.10 OBSERVATORIO DE ALTA MONTAÑA PARA COLOMBIA
- 7.11 CARTAS CELESTES POLARES Y ECUTORIAL
- 7.12 LLUVIAS DE METEOROS

GUÍA N° 8. ELEMENTOS DE ASTROFISICA

238

- 8.1. PARTICULAS ELEMENTALES
- 8.2. LAS FUERZAS FUNDAMENTALES
- 8.3. VARIABLES ESTELARES
- 8.4. ESTRELLAS NOTABLES
- 8.5. ESTRELLAS DOBLES
- 8.6. ESTRELLAS VARIABLES
- 8.7. FÍSICA DE PARTÍCULAS
- 8.8. LA REVOLUCIÓN NANOTECNOLÓGICA

GUÍA N° 9.

LAS ESTRELLAS

262

- 9.1. DIAGRAMA HERTZPRUNG-RUSSELL
- 9.2. FORMACION DE ESTRELLAS
- 9.3. LA NUCLEOSÍNTESIS ESTELAR
- 9.4. ESTRUCTURA DE LAS ESTRELLAS
- 9.5. DISTANCIA A LOS SISTEMAS ESTELARES
- 9.6. CIENCIA Y CONTAMINACIÓN EN LA LUNA
- 9.7. SOBRE ASTEROIDES, METEOROS Y CHATARRA ESPACIAL.
- 9.8. CIENCIA, PROTOCIENCIA Y SEUDOCIENCIA
- 9.9. SINERGIA Y PERTINENCIA EN LAS CIENCIAS BÁSICAS
- 9.10. COLOMBIA, POR UN SISTEMA SATELITAL.
- 9.11. GLOSARIO DE ESTRELLAS

GUÍA N° 10. LAS GALAXIAS

291

- 10.1. DESCRIPCION DE UNA GALAXIA
- 10.2. LA VÍA LÁCTEA Y EL GRUPO LOCAL
- 10.3. LA GRAN MURALLA SLOAN Y LA GRAN PARED
- 10.4. ACCIONES E INTERACCIONES DE GALAXIAS
- 10.5. AGUJEROS NEGROS, QUASARES Y GALAXIAS.
- 10.6. OTRA PRUEBA DE LA TGR: EL AGUJERO NEGRO DE M87
- 10.7. LAS CUENTAS DEL AGUA
- 10.8. NUESTRAS AGUAS SUBTERRÁNEAS
- 10.9. LOS MARES DE LA PATRIA
- 10.10. PATRIMONIO HÍDRICO: CARENCIAS EN LA ABUNDANCIA

GUÍA N° 11.

EL UNIVERSO

323

- 11.1. INSTRUMENTOS PARA OBSERVAR ASTROS
- 11.2. EFECTO DOPPLER
- 11.3. ESTRUCTURA DEL UNIVERSO OBSERVABLE
- 11.4. LEY DE HUBBLE
- 11.5. EL GRAN TELESCOPIO CANARIAS
- 11.6. ATLANTIS CIERRA ERA DEL TRANSBORDADOR

- 11.7. TRES DÉCADAS DEL HUBBLE
- 1.7. APRENDIENDO DEL SISMO DE HONSHU
- 11.8. RÉQUIEM POR LA METEOROLOGÍA EN COLOMBIA
- 11.9. SOL, CLIMA Y CALENTAMIENTO GLOBAL
- 11.10. CAMBIO CLIMÁTICO Y SUSTENTABILIDAD DEL TERRITORIO.

GUÍA N° 12. TEORIAS COSMOGONICAS

365

- 12.1. ALGUNOS CONCEPTOS
- 12.2. PRINCIPIOS COSMOLÓGICOS.
- 12.3. PROYECTOS SETI.
- 12.4. LAS TEORIAS COSMOGONICAS
- 12.5. EDAD DEL UNIVERSO
- 12.6. EL UNIVERSO ACELERADO
- 12.6. EL UNIVERSO DE EINSTEIN
- 12.7. EL UNIVERSO DE HAWKING
- 12.8. EL MISTERIOSO LADO OSCURO DEL UNIVERSO
- 12.9. TEORÍA M: CUERDAS Y BRANAS
- 12.10. DESARROLLO Y REVOLUCIONES TECNOLÓGICAS

GUÍA N° 13. ASTRONOMIA EN COLOMBIA

392

- 13.1. DE LOS MUISCAS A LA COLONIA
- 13.2. FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS (1768-1816)
- 13.3. JOSÉ MARÍA GONZÁLEZ BENITO (1843-1903)
- 13.4. JULIO GARAVITO ARMERO (1865-1920)
- 13.5. ULTIMOS AÑOS: LA CREACION DE LA ESCUELA
- 13.6. DOS LECCIONES Y DOS DESAFÍOS
- 13.7. CALDAS, EL PRECURSOR DE LA CIENCIA NEOGRANADINA
- 13.8. DESDE EL OAM: SOBRE NUESTRA LABOR

BIBLIOGRAFIA

437

**LISTA DE FIGURAS**



El OAM en el Campus Palogrande de la U.N. de Colombia Sede Manizales

Figura 1.0. Ruinas incas de Machu Pichu, Perú. ...

Figura 1.1 Modelo de Eratóstenes

Figura 1.2. El Sistema Geocéntrico.

Figura 1.3 Deferentes, Epiciclos y Ecuante

Figura 1.4. Imperio Romano

Figura 1.5. Europa a mediados del siglo XIV

Figura 1.6. Modelos de Copérnico y de Brahe

Figura 1.7. Los cinco poliedros perfectos

Figura 1.8. Cuadrante de pared de Tycho Brahe y Modelo planetario de Kepler

Figura 1.8. Interpretando a Saturno

Figura 1.9. Curvatura del espacio en R2

Figura 1.10. Proyecto COBE

Figura 1.11. Galileo ante el Santo Oficio

Figura 1.12. Newton, Einstein y Hawking

Figura 1.13. Chichén Itzá en la Península de Yucatán

Figura 1.14. Comisión Colombiana del Espacio CCE

Figura 2.0. Atardecer desde el espacio.

Figura 2.1. Triángulo esférico y horizonte del observador

- Figura 2.2. Coordenadas esféricas
- Figura 2.3. Coordenadas ecuatoriales:
- Figura 2.4. Coordenadas horizontales:
- Figura 2.5. Coordenadas eclípticas.
- Figura 2.6. Triangulación de un astro R
- Figura 2.7. Descripción del triángulo esférico
- Figura 2.8. Los seis elementos del triángulo PZR
- Figura 2.9. Problema 'ALEPH'
- Figura 2.9 (1) Intersección de visuales.
- Figura 2.9 (2). La Rosa ALEPH.
- Figura 2.9 (3): Intersección de dos conos
- Figura 2.9 (4): Solución gráfica de “ALEPH”.
- Figura 2.9 (5). Aproximación al intercepto de las “Rosas ALEPH”.
- Figura 2.9 (6): Convergencia de ALEPH
- Figura 2.9 (7). La pirámide, clave para las Rosas Aleph
- Figura 2.9 (8). Curvatura terrestre y Refracción atmosférica
- Figura 2.9 (9): Perspectiva de una triple intersección cónica.
- Figura 2.9 (10) La solución gráfica al Problema ‘ALEPH’
- Figura 3.0. Sistema Tierra Luna.
- Figura 3.1. Posiciones Planetarias
- Figura 3.2 Fases de Venus
- Figura 3.3 Movimiento retrógrado de Marte
- Figura 3.4 Longitudes geocéntrica y heliocéntrica
- Figura 3.5 Representación de las leyes de Kepler:
- Figura 3.6 Elementos de una órbita
- Figura 3.7: Eclipses de Sol 2021-2040.
- Figura 3.8 Eclipses de Luna y de Sol
- Figura 3.9 Problema de los dos cuerpos
- Figura 3.10 Las Cónicas
- Figura 3.11 Mapa para el tránsito de Venus del 8/06/2004
- Figura 3.12 Tránsito de Venus del 2004
- Figura 3.13 Tránsito de Mercurio desde el OAM



- Figura 3.14. Eclipses Totales de Sol del Siglo XXI
- Figura 3.15. Eclipses Torales de Sol del S XXI
- Figura 3.16. Eclipses: Diagramas explicativos
- Figuras 3.17 Eclipse Parcial de la Luna 16 de Julio de 2019.
- Figura 3.18: Eclipse Total de Sol del 14 de diciembre de 2020.
- Figura 3.19: La Estrella de Belén: una conjunción planetaria
- Figura 4.0. Ocultación de Saturno, por la Luna
- Figura 4.1 Día sidéreo y día solar
- Figura 4.2 – A. La ecuación de tiempo
- Figura 4.2 – B. Ecuación de tiempo
- Figura 4.3. Mes sidéreo y mes sinódico
- Figura 4.4. Visualizaciones satelitales de la Tierra.
- Figura 4.5 Precesión de los equinoccios
- Figura 4.6. Calendárica Azteca, y Calendarios Egipcio y Chino.
- Figura 4.7 Impacto en la Tierra primigenia
- Figura 5.0. Aurora en Saturno. O.E. Hubble.
- Figura 5.1 El Sistema Planetario
- Figura 5.2 Trayectoria de un cometa
- Figura 5.3 La Nube de Oort
- Figura 5.4 Trayectoria del asteroide 2011 MD
- Figura 5.5 Órbita y Trayectoria del asteroide Florence en 2017
- Figura 5.6. Períodos geológicos, y Luces urbanas en La Tierra
- Figura 6.0 Superficie de Marte.
- Figura 6.1 Estructura sólida de los planetas
- Figura 6.2 Estructura de las lunas principales
- Figura 6.3 Efecto de marea sobre el planeta Tierra
- Figura 6.4 Las dos caras de La Luna
- Figura 6.5 Homenaje a Julio Garavito Armero, en La Luna.
- Figura 6.6 Fotografías de satélites naturales del Sistema Solar
- Figura 6.7 Zonas habitables ZH del Sistema Solar y del Sistema Kepler 452.
- Figura 6.8. Astronautas de Apolo 11 en la Luna
- Figura 6.9. Sonda Chang'e-4, compuesta por un aterrizador y un rover.
- Figura 6.10. Relieve lunar: Der., cara oculta; Izq., cara visible.

Figura 6.11. Aterrizaje de Chang'e-4 (Izq) y Huellas del rover Yutu-2 (Der).

Figura 6.12. Panorámica tomada con la cámara rotatoria del módulo.

Figura 6.13. Concepción artística de una posible base lunar.

Figura 6.14: Juno aproximándose a Júpiter.

Figura 7.0. Nebulosa NGC-1850 en el Dorado.

Figura 7.1. Cielo del polo norte celeste

Figura 7.2. El cielo de diciembre

Figura 7.3. El cielo de junio

Figura 7.4. Cielo del polo sur celeste

Figura 7.5. Trayectoria aparente del Sol a lo largo de la Eclíptica

Figura 7.6. Fechas y Signos de la Eclíptica Zodiacal

Figura 7.7 Cartas Celestes polares para los hemisferios Norte y Sur

Figura 7.8 Carta Celeste Ecuatorial

Figura 8.0. Espectros de galaxias lejanas.

Figura 8.1. Rango las variables estelares

Figura 8.2. Análisis de la luz de una estrella

Figura 8.3. Espectros de un sistema de estrellas dobles

Figura 8.4. Sistema binario con intercambio de masa

Figura 8.5. Magnitud y período de las estrellas variables

Figura 8.6. Pulsar y emisora de rayos X

Figura 8.7 Panorámica del LHC

Figura 8.8 El "colosal" el hallazgo del Bosón de Higgs

Figura 8.9 El Gran Colisionador de Hadrones

Figura 8.10: La Nanotecnología

Figura 8.11 Juno aproximándose a Júpiter

Figura 9.0. M-80, cúmulo globular a 28 mil años luz.

Figura 9.1. El diagrama H-R

Figura 9.2. El diagrama H-R aplicado a cúmulos estelares.

Figura 9.3. Ciclo evolutivo de una estrella.

Figura 9.4A. Fusión del hidrógeno por dos vías

Figura 9.4B. La historia del Sol y la nucleosíntesis estelar

Figura 9.5. Estructura del Sol

Figura 9.6. Magnetosfera terrestre y viento solar

Figura 9.7. La paralaje de una estrella

Figura 9.8. Sonda japonesa Kaguya Selene

Figura 9.9. Chatarra espacial en órbita terrestre baja

Figura 9.10. “Lección de Anatomía” en 1617.

Figura 9.11. Mapa del Nuevo Reino de Granada.

Figura 9.12 Órbita geoestacionaria y Órbita Polar.

Figura 9.13 Cuadrícula Landsat para Colombia /

Figura 9.14 Conectividad y uso del internet en Colombia /

Figura 9.15 Posiciones orbitales en la órbita geoestacionaria

Figura 10.0. Colisión de dos galaxias espirales.

Figura 10.1. Apariencia lejana de dos clases de cúmulos

Figura 10.2. Apariencia lejana de dos clases de cúmulos

Figura 10.3 Planta de La Vía Láctea

Figura 10.4. Sistema de clasificación de las galaxias

Figura 10.5 La Gran Muralla Sloan en una reconstrucción

Figura 10.6: The M87 Black Hole and Cygnus X-1.

Figura 10.7. Corrientes oceánicas y clima de la Tierra

Figura 10.8 Colombia anfibia.

Figura 10.9. Colombia: Áreas hidrográficas y Rendimiento hídrico.

Figura 10.10. Colombia: Índices del agua y Provincias hidrológicas.

Figura 10.11. Clima, riesgo, precipitación y coberturas en Colombia.

Figura 11.0. Panorámica de la Nebulosa de Orión.

Figura 11.1 A. Principales clases de telescopios.

Figura 11. 1B. Clases de telescopios ópticos; refractor, Reflector y Catadióptrico

Figura 11.2. Radiotelescopios

Figura 11.3. Espectro electromagnético

Figura 11.4. Difracción de la luz TELESCOPIO REFLECTOR GRANTECAN (GTC)

Figura 11.5. Tipos de espectros, según la fuente luminosa

Figura 11.6. Efecto Doppler de una fuente luminosa

Figura 11.7. Corrimiento al rojo y al violeta

- Figura 11.8. Velocidad tangencial de una estrella
- Figura 11.9 El modelo de Universo para Olbers
- Figura 11.10. Universos continuos y bidimensionales
- Figura 11.11. El Universo Inflacionario
- Figura 11.12 Curvas de velocidad de expansión del Universo
- Figura 11.13. Telescopio reflector Grantecan (GTC).
- Figura 11.14 Expansión del espacio-tiempo
- Figura 11.15A Nave espacial Atlantis
- Figura 11.15B. Telescopio Espacial Hubble El amanecer de las galaxias.
- Figura 11.16 Tiempos de arribo del Tsunami del 11-03-2011
- Figura 11.17: Dinámica de la Zona de Confluencia Intertropical ZCIT
- Figura 11.18. Magnetósfera terrestre y viento solar.
- Figura 11.19. Colombia: Escenarios de cambio Climático 2011-2100.
- Figura 12.0. Nebulosa Ojo de Cerradura
- Figura 12.1. El agujero negro
- Figura 12.2. Curvas de expansión de un Universo finito
- Figura 12.3. Edades de los Universos finitos
- Figura 12.4. El Universo de Albert Einstein
- Figura 12.5. La expansión del universo
- Figura 12.6. Materia oscura
- Figura 12.7. El campo de las matemáticas puras
- Figura 13.0. Antigua sede del OAN de Colombia, contigua al Palacio de Nariño.
- Figura 13.1. Amadeo Bonpland y Alejandro de Humboldt.
- Figura 13.2. Mural sobre La Expedición Botánica de la Nueva Granada, en 1875.
- Figura 13.3. La Nueva Granada en 1981. Expedición Corográfica de Codazzi.
- Figura 13.4. Extensiones y fronteras marítimas de Colombia.
- Figura 13.5. Observatorio Astronómico de Santafé y Francisco José de Caldas.
- Figura 13.6. Alexander Humboldt: Viaje de exploración 1799-1804.
- Figura 13.7: Las revoluciones industriales.
- Figura 13.8. Sede Histórica del Observatorio Astronómico Nacional.

...

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA (1867-2017)**



**GUÍA ASTRONÓMICA**

**Gonzalo Duque-Escobar  
MANIZALES, 2020**

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3252>

Anexo 1: Colombia tropical: ¿y el agua qué?.	Anexo 12: La Luna
Anexo 2: Calentamiento global en Colombia	Anexo 13: Cultura y Astronomía (C&A)
Anexo 3: Aspectos geofísicos y amenazas naturales en los Andes de Colombia.	Anexo 14: Astronomía en La Edad Media y el Renacimiento.
Anexo 4: El camino a las estrellas.	Anexo 15: Sol, lunas y planetas.
Anexo 5: Isaac Newton	Anexo 16: Manual de geología para ingenieros
Anexo 6: Albert Einstein.	Anexo 17: Riesgo sísmico: los terremotos.
Anexo 7: Stephen Hawking	Anexo 18: CTS, Economía y Territorio.
Anexo 8: Geotecnia para el trópico andino.	Anexo 19: Cultura y Turismo en Caldas.
Anexo 9: Preservación Ambiental e Hídrica del Paisaje Cultural Cafetero.	Anexo.20: El Río Cauca y el desarrollo de la región.
Anexo 10: Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial.	Anexo 21: Videos: Temas de Astronomía y Medio Ambiente.
Anexo 11: Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia.	Anexo.22: UMBRA: la Ecorregión Cafetera en los Mundos de Samoga.
Enlaces U.N.: Textos “verdes”	<b>El Autor: Gonzalo Duque-Escobar</b>

**HOME:**

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3252>

CONTENIDO: PRESENTACIÓN. GUÍA Nº 1. HISTORIA DE LA ASTRONOMÍA. GUÍA Nº 2. COORDENADAS ASTRONÓMICAS. GUÍA Nº 3. ELEMENTOS DE MECÁNICA PLANETARIA. GUÍA Nº 4. TIEMPO Y CALENDARIOS. GUÍA Nº 5. EL SISTEMA SOLAR. GUÍA Nº 6. SOL, LUNAS Y PLANETAS. GUÍA Nº 7. COSMOGRAFÍA. GUÍA Nº 8. ELEMENTOS DE ASTROFÍSICA. GUÍA Nº 9. LAS ESTRELLAS. GUÍA Nº 10. LAS GALAXIAS. GUÍA Nº 11. EL UNIVERSO. GUÍA Nº 12. TEORÍAS COSMOGÓNICAS. GUÍA Nº 13. ASTRONOMÍA EN COLOMBIA. BIBLIOGRAFÍA

**A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.**



...



La Luna. Sel.noaa.gov

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
COLOMBIA (1867-2017)**



**GUÍA ASTRONÓMICA**

**Gonzalo Duque-Escobar**

**PRESENTACION**

Esta Guía Astronómica es una versión de mis conferencias presentadas en el Taller de Astronomía desde 1985 y en el curso de Contexto en Astronomía que se ofrece desde 2000, dos actividades ofrecidas por el Observatorio Astronómico de Manizales OAM adscrito a la Universidad Nacional de Colombia en Manizales, como espacios disponibles para la comunidad académica y para los aficionados a la astronomía.

Por esa razón, este texto propio de la vida universitaria, sin ser un documento especializado, puesto que su alcance es apenas básico y los temas tratados son de carácter general, ha evolucionado hasta encontrar el lenguaje sencillo y la medida adecuada en la extensión y profundidad de los temas, para facilitar la necesaria tarea de avanzar en la endogenización de la ciencia en Colombia.

Pocas disciplinas pueden crear un ambiente cultural favorable hacia las ciencias, como lo logra la astronomía. Basta imaginar la actitud de miles de hombres y mujeres que han logrado encontrar en las profundidades del tiempo y el espacio sus raíces cósmicas, para asumir un compromiso con el Planeta y con la especie humana.

Gonzalo Duque-Escobar

<http://godues.webs.com>

**DEDICATORIA**



••• a mis hijos Julián y Miguel; a mi Familia y Compañeros del OAM.

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.



**ENLACES U.N.:**

**Libros y Documentos de Gonzalo Duque-Escobar**  
**Publicaciones del Repositorio U.N. de Colombia**

**Geociencias y Medio Ambiente.**  
**Manual de geología para ingenieros.**  
**Curso de Contexto en Astronomía U.N.**

...



UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE  
COLOMBIA



GUÍA  
ASTRONÓMICA

EL AUTOR

El autor es Ingeniero Civil con estudios de posgrado en Geofísica Aplicada, Economía y Mecánica de Suelos, y Profesor Asociado de la Universidad Nacional de Colombia donde ha dictado las cátedras de Geología, Astronomía, Topografía y Mecánica de Suelos, desde 1976, además de los Contextos en Astronomía y en Ciencia Tecnología y Sociedad. Hoy, se desempeña como Docente Ocasional de la U.N. de Colombia.

También ha tenido a su cargo varios módulos en cursos de posgrado de la U.N., tanto en la Escuela de Arquitectura como en el Departamento de Ingeniería y en la Facultad de Ciencias Físicas Exactas y Naturales.

Actualmente, ocupa el cargo de Director del Observatorio Astronómico de Manizales desde su fundación y del Museo Interactivo Samoga, en la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales. Sus textos, aparecen publicados en:

<https://godues.wordpress.com/2011/04/13/libros-un-de-gonzalo-duque-escobar/>

Además, ha sido Investigador en el tema de los fenómenos geodinámicos y las amenazas naturales dentro del Proyecto Construcción de Indicadores sobre Desastres Naturales BID – UN, Expresidente y Miembro Fundador de la Red de Astronomía de Colombia (RAC), y responsable de la edición de 417 “Circulares de la RAC”, las que pueden consultarse en <http://oam.manizales.unal.edu.co/>



Gonzalo Duque-Escobar, ha participado desde la Facultad de Ingeniería y Arquitectura en otras investigaciones, así: con la Sociedad de Mejoras Públicas de Manizales, en temas socio-ambientales; con la Gobernación y el Observatorio COIC, de Observatorio de Infraestructura del Comité Intergremial de Caldas COIC en temas de logística y proyectos de infraestructura del transporte; con el Centro Regional de Estudios Cafeteros (Crece) sobre el tema de Energía; con el Instituto de Estudios Ambientales (IDEA), en estudios de Gestión del Riesgo y en el Perfil Ambiental de Colombia caso Manizales; con la Central Hidroeléctrica de Caldas (Chec), en la Prospección del Potencial Geotérmico del PNN de los Nevados, con la Comunidad Caldense, en el montaje del Observatorio Vulcanológico del V.N. del Ruiz; y con la Corporación Aldea Global, en ordenamiento de cuencas hidrográficas y temas de Gobernanza Forestal. Ver <http://godues.webs.com>



Imagen del OAM y del Museo Interactivo Samoga. Composición. <http://samoga.manizales.unal.edu.co>

### Figuras y créditos

Todas las figuras cuadros y tablas, tienen el respectivo crédito. LAS FIGURAS DEL INICIO DE CADA CAPITULO, han sido modificadas, y sobre todo tampoco son fundamentales en este trabajo. Otras más de la parte complementaria de cada capítulo tomas de Internet, tienen sus respectivos créditos. LAS FIGURAS RESTANTES que hacen parte sustancial del trabajo, en parte son del autor.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
COLOMBIA (1867-2017)**



**GUÍA ASTRONÓMICA**

**Gonzalo Duque-Escobar**

**MANIZALES, 2020**

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3252>


Anexo 1: Colombia tropical: ¿y el agua qué?.	Anexo 12: La Luna
Anexo 2: Calentamiento global en Colombia	Anexo 13: Cultura y Astronomía (C&A)
Anexo 3: Aspectos geofísicos y amenazas naturales en los Andes de Colombia.	Anexo 14: Astronomía en La Edad Media y el Renacimiento.
Anexo 4: El camino a las estrellas.	Anexo 15: Sol, lunas y planetas.
Anexo 5: Isaac Newton	Anexo 16: Manual de geología para ingenieros
Anexo 6: Albert Einstein.	Anexo 17: Riesgo sísmico: los terremotos.
Anexo 7: Stephen Hawking	Anexo 18: CTS, Economía y Territorio.
Anexo 8: Geotecnia para el trópico andino.	Anexo 19: Cultura y Turismo en Caldas.
Anexo 9: Preservación Ambiental e Hídrica del Paisaje Cultural Cafetero.	Anexo.20: El Río Cauca y el desarrollo de la región.
Anexo 10: Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial.	Anexo 21: Videos: Temas de Astronomía y Medio Ambiente.
Anexo 11: Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia.	Anexo.22: UMBRA: la Ecorregión Cafetera en los Mundos de Samoga.
Enlaces U.N.: Textos “verdes”	<b>El Autor: Gonzalo Duque-Escobar</b>

**HOME:**

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3252>

CONTENIDO: PRESENTACIÓN. GUÍA Nº 1. HISTORIA DE LA ASTRONOMÍA. GUÍA Nº 2. COORDENADAS ASTRONÓMICAS. GUÍA Nº 3. ELEMENTOS DE MECÁNICA PLANETARIA. GUÍA Nº 4. TIEMPO Y CALENDARIOS. GUÍA Nº 5. EL SISTEMA SOLAR. GUÍA Nº 6. SOL, LUNAS Y PLANETAS. GUÍA Nº 7. COSMOGRAFÍA. GUÍA Nº 8. ELEMENTOS DE ASTROFÍSICA. GUÍA Nº 9. LAS ESTRELLAS. GUÍA Nº 10. LAS GALAXIAS. GUÍA Nº 11. EL UNIVERSO. GUÍA Nº 12. TEORÍAS COSMOLÓGICAS. GUÍA Nº 13. ASTRONOMÍA EN COLOMBIA. BIBLIOGRAFÍA

**A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.**

	
	<p><b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA (1867-2017)</b></p>  <p><b>GUÍA ASTRONÓMICA</b></p> <p>Gonzalo Duque-Escobar</p> <p><b>GUÍA N° 1:</b></p> <p><b>HISTORIA DE LA ASTRONOMÍA</b></p>
<p><small>Ruinas incas de Machu Pichu, Perú. Webshots.com</small></p>	

La astronomía es una de las ciencias más antiguas y al mismo tiempo de las más modernas. Aparentemente desdeñada hasta hace pocos años, bajo el presupuesto de que fue considerada como una actividad contemplativa y ociosa en torno a objetos que nada tenían que ver con la vida cotidiana, realmente sí se ocupó de los asuntos propios del hombre, para **anticipar los eventos** de la naturaleza de carácter cíclico, que le permitían su **supervivencia**: la caza, la pesca, la agricultura y el transporte. Para entonces, lo que importa es el pensamiento práctico, así: la Aritmética para la contabilidad; la Geometría para medir la tierra y cubicar las cosechas de grano, y el Alfabeto para describirlo todo.

Aunque el hombre en la vida citadina no observa las estrellas y se ha alejado de la naturaleza primitiva, habitando un medio más artificial ha entrado en la era de los cohetes lunares y los satélites. Hoy es indiscutible la importancia de esta ciencia que ha llegado a las mentes de un sector nutrido de la población. La astronomía y las ciencias vecinas están conociendo un crecimiento verdaderamente explosivo, que se traduce, sobre todo, en el número cada vez mayor de trabajos científicos. La imbricación de la astronomía con otras ciencias como la filosofía, la física, la meteorología, la geología, entre otras, es cada vez más evidente.

Así como con los calendarios surgirá la agricultura, y con la agricultura aparecen los primeros poblados desde 10 mil a.C., gracias a los poblados surgirá la escritura y con ella los imperios. Ciertamente la astronomía no fue nunca, ni siquiera en los primeros pasos de su evolución, una actividad puramente contemplativa e inútil para la vida práctica de las colectividades humanas. Las observaciones astronómicas entraron en el proceso de recolección y procesamiento de información, útil para la construcción del futuro, pues le es propia a esta especie a diferencia de los animales, anticipar los hechos y prevenir las necesidades del futuro de una manera consciente. Los problemas del calendario, del cálculo del tiempo o de la orientación en el campo y en el mar, pertenecen a las bases mismas de nuestra cultura y civilización, y sólo pueden resolverse mediante observaciones de los astros.

Observando el doble carácter astronómico y mitológico en la denominación de los días de la semana, que en su orden se relacionan con la Luna, Marte, Mercurio, Júpiter, Venus, Saturno y el Sol (Apolo), vemos que la astronomía tuvo en los primeros albores de su historia otra aplicación "utilitaria": la **astrología**. Según la cosmovisión de entonces, toda la naturaleza, incluidos los astros de aspecto llamativo y errático movimiento, era animada y estaba poblada por dioses, espíritus y demonios, que influían definitivamente en los acontecimientos de la Tierra como sequías, inundaciones y sismos, y en los acontecimientos humanos como guerras, pestes y cambios de gobierno.

El deseo de anticipar eventos, que eran tenidos por designios de las divinidades astrales, llevó a estudiar cuidadosamente las trayectorias planetarias, en la medida en que los sencillos instrumentos de medición y rudimentos teóricos de entonces lo permitían. Si no contaban con aparatos ópticos, ni el desarrollo de las matemáticas, poseían instrumentos sencillos de medición de ángulos y dispositivos de alineamiento. Las series de observaciones obtenidas así a lo largo de los siglos e incluso milenios condujeron finalmente a valores numéricos bastante precisos. Especialmente avanzado estaba el conocimiento de la duración del año ligado a las estaciones, del mes al ciclo lunar y de la semana a las fases lunares, como claro estaban los períodos de los movimientos de los planetas. En esta fase del desarrollo de la astronomía no existía aún preocupación alguna por la explicación teórica del movimiento de los astros.

En el mundo antiguo hay que resaltar los siguientes centros de astronomía:

### 1.1. BABILONIA

La historia de Babilonia se divide en dos etapas separadas entre sí por el período de dominación asiria; el imperio paleobabilónico o amorrita (1792 a. C.–1595 a. C.) y el imperio neobabilónico o caldeo (626 a. C.–539 a. C.). El imperio babilónico fue sucedido por el persa tras las conquistas de Ciro II el Grande. Para los babilonios, todo se manejaba por reglas fijas: no existía el método lógico y se aplicaba el principio de causalidad.

Los inicios de la astronomía babilónica se remontan al tercer milenio a. C. Alcanzó su auge hacia 600-500 a. C. y decayó en el último siglo antes de nuestra era. Para ver la precisión de muchos de sus datos astronómicos vamos a dar algunos ejemplos: la duración media entre dos fases lunares iguales (mes sinódico o lunación) es de 29,530641 días; el valor moderno es de 29,530589 días (ver calendarios). El valor hallado en el siglo II o I a. C. para la revolución sinódica de los planetas, es decir, el tiempo entre dos posiciones similares con respecto a la Tierra, no difería en más del 1% del día, del valor actual: en el caso de Venus, por ejemplo es de, 583,91 días en lugar de 583,92 días. Sólo en el caso de Marte con, 779,995 días en lugar de 779,94 días, aparece una desviación algo mayor, que, sin embargo, tampoco tiene por qué ser del todo real, porque como hasta hace bien poco no se podían observar los planetas con instrumentos de medida modernos (desarrollo de los sistemas de Bessel en el siglo XIX), no es posible realizar con absoluta seguridad un cálculo retrospectivo de las revoluciones que, siempre sometidas a perturbaciones, eran diferentes hace 2 ó 3 mil años.

A diferencia del calendario egipcio que fue de base solar, el babilónico constituido por 12 meses de 30 días, tuvo base lunar: Creado por los Sumerios, este calendario fue implementado posteriormente en el imperio neobabilónico por los caldeos, a quienes los romanos se referirán como los astrólogos y los matemáticos. La observación babilónica más antigua de un eclipse de Sol total (de entre las fechadas con seguridad) se remonta al 15 de junio de 763 a. C. Sin embargo, la periodicidad de los eclipses se había observado bastante antes, seguramente en el siglo III a. C., obteniendo con ello el descubrimiento del **Ciclo de Saros** (223 meses sinódicos o 18 años  $11 \frac{1}{3}$  días; ver Calendarios), un período en el cual se repiten los eclipses, dado que la Luna

y La Tierra regresan a posiciones orbitales relativamente similares; en este contexto, esta fue una de las contribuciones más notables de la astronomía babilónica. A ello habrá que sumar la creación del sistema sexagesimal: circunferencia en  $360^\circ$  y  $1^\circ=60'$ , dado que el año son 360 días.

Los babilonios recurrieron en principio al ciclo lunar para confeccionar un calendario. Cada 12 meses de 30 días componían un año. Para absorber el desfase respecto de la duración real del año solar (365,25 días) se agregaba de vez en cuando un mes más. Reglas fijas para intercalar este mes no las hubo hasta el siglo VI a. C. A partir del 383 a. C. se previeron 7 meses para intercalar cada 19 años (año lunisolar).

La división del día comenzaba con la puesta de Sol. Hacia 1700 a. C. aproximadamente se conocía ya su división en 24 horas iguales. Las constelaciones más importantes recibieron ya sus nombres en el tercer milenio a.C. La astronomía moderna adoptó la mayoría de los nombres babilónicos para las constelaciones del zodiaco.

## 1.2. EGIPTO

El Nilo fue vital para la cultura egipcia desde la edad de piedra. El cambio del clima y la desertización del Sahara en torno al 8000 a. C. obligó a la migraron y asentamiento en el valle del río Nilo, lugar donde se desarrolla una economía agrícola y una sociedad centralizada. Con la división del trabajo surge el sistema numérico y la división del día en 24 horas. A principios del tercer milenio a.C. los egipcios disponían de un sistema de numeración con base 10.

El calendario egipcio, a diferencia del babilónico que era con la Luna, se apoyaba en el ciclo solar. En el milenio IV a. C. se conocía el año solar de 365 días, con 12 meses de 30 días y 5 días complementarios. El comienzo del año venía determinado por el **orto heliaco de la estrella Sirio**, es decir, por su primera aparición en el amanecer después de un período de invisibilidad. Este acontecimiento coincidía originariamente con el inicio de la creciente natural del Nilo. Observaciones posteriores revelaron un retraso del orto heliaco de Sirio,

y la creciente del Nilo no volvía a coincidir hasta 1460 años después (período sothíaco). De ahí se dedujo que la verdadera duración del año era de 365,25 días. A partir del 238 a. C. se agregó por eso a cada cuarto año un día intercalado. Aparte de diversas constelaciones estelares, existía en Egipto una división del zodíaco en 36 decanos, regidos por divinidades.

### 1.3. CHINA

Los filósofos chinos hicieron importantes avances en los campos de la ciencia, tecnología, matemática, astronomía y una escritura basada en símbolos. De esta nación, provienen los primeros registros con observaciones no solo de cometas y eclipses solares, sino también de supernovas. Se cuenta la historia de los desdichados astrónomos de la corte, Hsi y Ho, que fueron ejecutados por haber puesto en peligro la seguridad del mundo, al dejar de predecir un eclipse de Sol.

Al igual que en Babilonia, el antiguo calendario chino de principios del siglo II a. C. es un año lunisolar con ciclos bisiestos de 19 años. La obra **Calendario de tres ciclos**, aparecida hacia el principio de nuestra era y cuyo autor es Liu Hsin, describe la historia de la astronomía china desde el tercer milenio. Los astrónomos de la corte imperial china observaron fenómenos celestes extraordinarios cuya descripción ha llegado en muchos casos hasta nuestros días. Estas crónicas son para el investigador una fuente valiosísima porque permiten comprobar la aparición de nuevas estrellas, cometas, etc. También los eclipses se registraban de esta manera.

Por el contrario, el estudio de los planetas y de la Luna no estuvo hasta el siglo I a. C. en condiciones de proporcionar predicciones suficientemente exactas de los fenómenos celestes y de los eclipses. La antigua astronomía solar china difiere mucho de la babilónica y la occidental. El ecuador celeste se dividía en 28 casas y el número de constelaciones ascendía a 284, lo que evidencia el detalle en la observación del cielo.

#### 1.4. CENTROAMERICA Y PERÚ

Si los distintos pueblos del Méjico antiguo llegaron hasta la fase jeroglífica, los mayas lograron la fase silábico-alfabética en su escritura. La numeración iniciada por los olmecas con base vigesimal, la perfeccionan los mayas, en los siglos III y IV a. C... Los mayas conocieron desde el tercer milenio a. C. como mínimo un desarrollo astronómico muy polifacético. Muchas de sus observaciones han llegado hasta nuestros días (por ejemplo, un eclipse lunar del 15 de febrero de 3379 a. C.) y se conocían con gran exactitud las **revoluciones sinódicas de los planetas**, la periodicidad de los eclipses etc. El calendario comienza en una fecha cero que posiblemente sea el 8 de junio de 8498 a. C. en nuestro cómputo del tiempo, aunque no es del todo seguro. Los mayas tenían además un año de 365 días (con 18 meses de 20 días y un mes intercalado de 5 días).

También la astronomía inca, en el Perú, tuvo en parte un gran desarrollo. Los incas, conocían la revolución sinódica de los planetas con admirable exactitud. Las anotaciones en los **quipus** (cordeles con nudos) dan 115,88 días para Mercurio, 584,8 días para Venus y 398,88 días para Júpiter. Los valores modernos son respectivamente 115,88 d, 583,92 d y 398,88 d. El calendario consistía en un año solar de 365 días, repartidos en 12 meses de 30 días y 5 días intercalados.

Todas las culturas pertenecientes al período de desarrollo comentado tenían una cosa en común, y es que tomaban los fenómenos celestes como fenómenos dados, sin buscar para nada explicaciones ocultas. A la Tierra se le atribuía la forma de un disco plano, rodeado de la bóveda celeste.

#### 1.5. GRECIA

Se destacan los Pitagóricos, un movimiento filosófico-religioso de mediados del siglo VI a. C. fundado por **Pitágoras de Samos** (580-500 a.C.). Pitágoras, crea esta secta, cuya creencia más destacada era que todas las cosas son en esencia números, y que el cosmos proviene de principios numéricos; añaden que cada nota musical se da en función de longitud de una cuerda y que el cielo en su totalidad es números y es armonía.



Para los Pitagóricos (572-48 a.C.), el cielo en su totalidad es números y es armonía. Se predica la igualdad entre todos los seres vivos. Mientras desprecian el provecho económico y consideran el trabajo reservado para los esclavos, no escatiman esfuerzos para pensar en asuntos imposibles, de donde surgen conceptos fundamentales como los números irracionales, las cónicas y el infinito. Por oposición a este modo de pensar, el pensamiento práctico de Arquímedes (287-212 a.C.) expresado en sus aportes a la ingeniería, las poleas y palancas, el empuje hidrostático y el tornillo sinfín, es la antítesis.

**Tales de Mileto** (640 a.C.), el primero de los grandes astrónomos, creía que el Universo era esférico. **Aristóteles** (384 a. C.) combatió la idea de una Tierra plana, basando sus puntos de vista en el cambio de posiciones de estrellas en el cielo con la latitud y en la forma circular de la sombra de la Tierra proyectada sobre la Luna durante un eclipse.

**Aristarco de Samos** (310–230 a.C.) se anticipó a Copérnico al proponer el modelo heliocéntrico del Sistema Solar, colocando el Sol y no la Tierra, en el centro del universo conocido. Aristarco argumentó que el Sol, la Luna, y la Tierra forman un ángulo recto durante las fases del cuarto creciente o menguante y aunque utilizó la geometría, con datos incorrectos concluyó que el Sol estaba 20 veces más lejos que la Luna, cuando en realidad está 400 veces más lejos.

**Arquímedes** (287 – 212 a.C.). Entre los avances de este físico, ingeniero, inventor, astrónomo y matemático griego, aparecen fundamentos de hidrostática y estática y la explicación del principio de la palanca. Arquímedes dice: “Denme un punto de apoyo y moveré el mundo”; con sus palancas mueve por tierra el barco cargado y más grande, desde el puerto hasta la plaza.

Arquímedes usó el método exhaustivo para calcular el área bajo el arco de una parábola sumando elementos, y resuelve el problema del infinito aceptando diferencias despreciables, al estimar con aproximación adecuada el número pi ( $\pi$ ), proponiendo útil aplicar un valor por exceso o defecto, así:

$$3 \frac{1}{7} < \pi < 3 \frac{10}{17}$$

También definió la espiral que lleva su nombre, curva que se define como el lugar geométrico de un punto que se mueve a velocidad constante sobre una recta que gira sobre un punto de origen fijo a velocidad

**Eratóstenes de Cirene** (276 a. C.194 a. C.) fue el matemático, astrónomo y geógrafo griego que concibió por primera vez la geografía como disciplina, al incorporar paralelos y meridianos para el primer mapa del mundo. Es conocido por haber logrado el primer cálculo de la circunferencia de la Tierra, lo cual logró al comparar las altitudes del Sol del mediodía en Siena y Alejandría, dos lugares separados por una distancia Norte-Sur conocida. También fue el primero en calcular la inclinación del eje de la Tierra y en estimar la distancia Tierra- Sol,

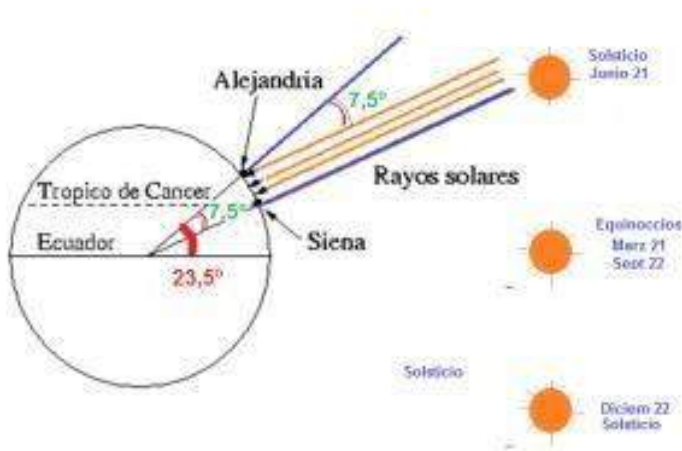


Figura 1.1 Modelo de Eratóstenes: la sombra del Sol cae de diferentes maneras en Siena y Alejandría, a causa de la forma de la Tierra. La diferencia angular de los rayos del Sol, respecto a la vertical de cada lugar, equivale al ángulo AOS, base de la distancia AS. El arco que subtiende  $7^{\circ} \frac{1}{7}$  de grado, es un cincuentavo de la circunferencia.

El director de la Biblioteca de Alejandría, **Eratóstenes** (aproximadamente en 280-200 a. C.), mide la Tierra utilizando la altura del Sol de mediodía. Con la sombra de un elemento vertical proyectada en dos puntos distintos, halló una diferencia de valor de  $7^{\circ} \frac{1}{7}$  para la distancia angular entre Asuán y Alejandría. Como la distancia horizontal entre ambos lugares era, según mediciones suyas anteriores, de 5.000 estadios, halló por métodos puramente geométricos, cuando aún no se había desarrollado la trigonometría, que el perímetro total de la esfera terrestre era

$$5000 \times 360^{\circ} / 71/7 = 252000 \text{ estadios} = 39690 \text{ Km}$$

**Hiparco de Nicea** (190-120 a. C.), el astrónomo griego más importante; aunque la historia de la trigonometría se remonta a Babilonia y Egipto cuando se estable la medida de ángulos en grados, minutos y segundos, en el siglo II a. C. Hiparco construye una tabla de cuerdas para resolver triángulos. También hizo un catálogo de estrellas clasificadas por su brillo y descubrió la precesión del eje terrestre. Sus trabajos fueron la base para la gran obra de Ptolomeo, que se escribiría en el siglo II d. C.

También a otros astros se les atribuyó una forma esférica. Anaxágoras sostenía que el Sol era una roca incandescente y Demócrito afirmaba que la Vía Láctea consistía en numerosas estrellas. Una de las mayores contribuciones de la astronomía griega, entre las concepciones clásicas sobre las consideraciones del Universo como finito y geocéntrico -al lado de El Timeo de Platón, la Metafísica y el Tratado del Cielo y el Mundo de Aristóteles- fue el intento de explicar el movimiento de los planetas mediante una teoría de Hiparco (190-125 a.C.),

Esto lo logra **Claudio Ptolomeo** (87-170 d. C.) astrólogo, geógrafo, matemático y astrónomo de la época de los emperadores Adriano y Antonino Pío, vivió en Alejandría. Desde allí, compiló en el **Almagesto** todo el saber astronómico de la época: además del movimiento de la Luna y de los planetas, explica los equinoccios y solsticios, e incorpora el catálogo estelar más completo de la antigüedad. Heredero de la concepción del universo de Platón y Aristóteles, Ptolomeo fue un empirista cuyo trabajo soportado en el Almagesto, consistió en estudiar la información astronómica acumulada, entre ella una obra perdida de Hiparco de Nicea, para predecir eclipses y elaborar un modelo geométrico que permitirá anticipar las posiciones planetarias.

Los siete planetas, entre los que tradicionalmente figuraban también la Tierra y la Luna, se movían en siete esferas alrededor de la Tierra, la cual ocupaba el centro (sistema geocéntrico). De adentro hacia afuera se sucedían la Luna, Mercurio, Venus, el Sol, Marte, Júpiter y Saturno. Más allá de la órbita de Saturno se hallaba la esfera de las estrellas fijas. La Tierra no ocupaba el centro exacto de cada órbita, es decir, las órbitas planetarias eran algo excéntricas. Sólo el Sol y la Luna se movían en círculo; los demás planetas recorrían un **epiciclo** cuyo centro se deslizaba a lo largo de un círculo llamado **deferente**. Parte del modelo geocéntrico que suponía la Tierra estática como centro del Universo, en lugar del modelo heliocéntrico de Aristarco.

Obsérvense unos círculos menores llamados epiciclos y otros mayores, los deferentes. Los centros de los epiciclos de los planetas interiores se localizan sobre la recta Tierra Sol, y la de los exteriores, sobre los deferentes. Epiciclos y deferentes, son círculos, y los círculos suponen ser la geometría del movimiento perfecto.

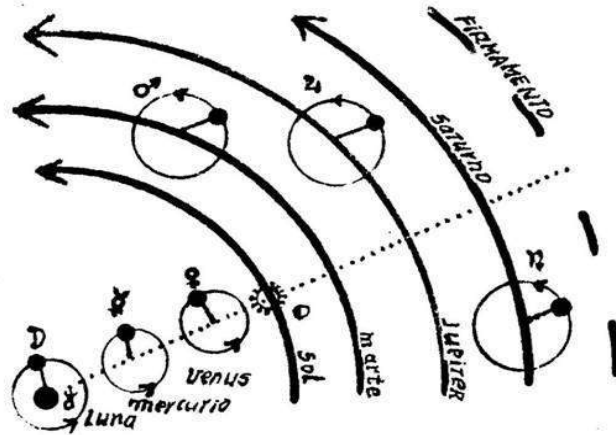


Figura 1.2. El Sistema Geocéntrico. Claudio Ptolomeo (85- 165 d. C. aprox.).

La teoría de los epiciclos de **Ptolomeo** permitía no sólo dar una explicación teórica al movimiento de los planetas, sino también obtener predicciones fiables.

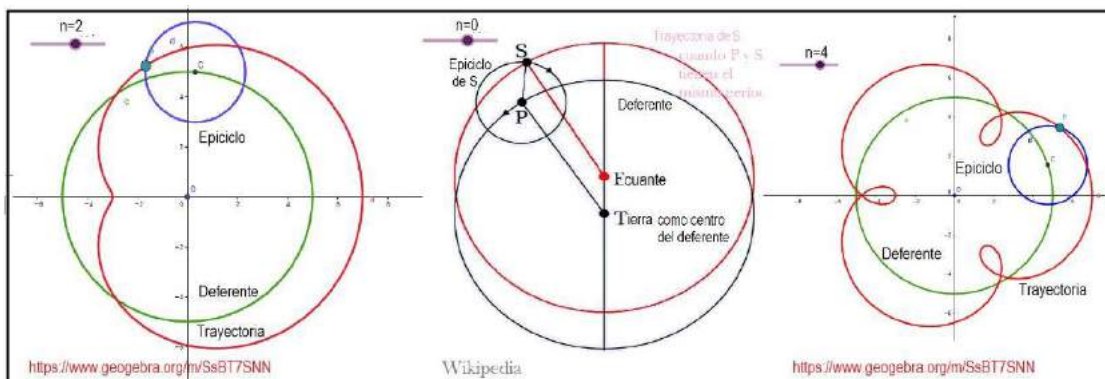


Figura 1.3: Deferentes, Epiciclos y Ecuante: el ecuante, que será rechazado por Copérnico, con movimientos circulares y velocidad uniforme, explica la trayectoria “anómala” del Sol en torno a la Tierra. en

<https://www.geogebra.org>

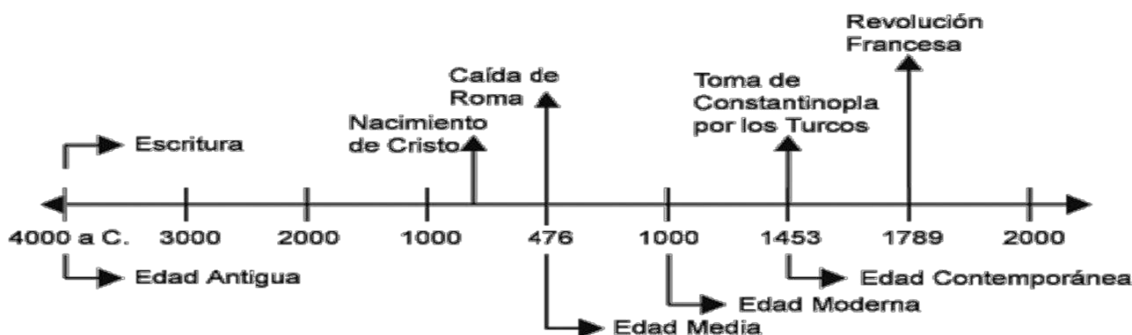
Al lado de la teoría geocéntrica aparecieron otras como la de **Aristarco** de Samos (310 a 250 a. C.). Según él el Sol (Helios) se hallaba en el centro y alrededor de él giran en círculo los planetas, entre ellos la Tierra.

Los griegos fueron también los primeros en intentar medir distancias en el cosmos. Aristarco, aplicando métodos de paralaje, al proyectar la sombra de la Tierra sobre la Luna eclipsada, y que la Luna en los eclipses mostraba el mismo tamaño aparente del Sol, halló que la razón de las distancias Luna-Sol era de 1/19. El diámetro de la Luna según él, era 0,36 veces la de la Tierra y el del Sol 6,75 el terrestre; debiendo ambas cantidades guardar la misma proporción dada la igualdad entre los diámetros aparentes, las distancias a ambos astros eran las de sus tamaños reales.

Los pueblos del centro y norte de Europa a. C. poseían conocimientos astronómicos que aplicaron a las construcciones megalíticas de la Edad de Piedra. **Stonehenge** en el sur de Inglaterra, que en su mayoría tienen que ver con los movimientos del Sol y la Luna, es una evidencia.

### 1.6. EDAD MEDIA

Este período caracterizado por el dominio de la teología sobre las demás disciplinas intelectuales, va del año 476 d.C. cuando culmina el esplendor del imperio romano de occidente centrado en Roma, hasta el año 1453 cuando culmina el imperio romano de oriente, por la caída de Constantinopla en manos de los turcos otomanos.



Cuadro 1.1. Línea de tiempo: desde la edad antigua a la modernidad.

La edad media, también denominada medioevo o medioevo, es el período histórico, posterior a la Edad Antigua y anterior a la Edad Moderna, que comprende desde el fin del Imperio romano hacia el siglo v, hasta el siglo xv cuando se produce el descubrimiento de América. Se dice que el medioevo, es el período en que apareció y se construyó Europa.

Así se asocia la Edad Media: Desde el punto de vista cultural, con el cristianismo. Desde lo económico y social, con el feudalismo, vasallaje y servidumbre. Desde la filosofía bajo el punto de vista es teocéntrico, como el diálogo Fe-Razón.

Veamos el territorio del Imperio Romano, en tiempos de Augusto y de Trajano, y sus límites con las conquistas del siglo II d.C.

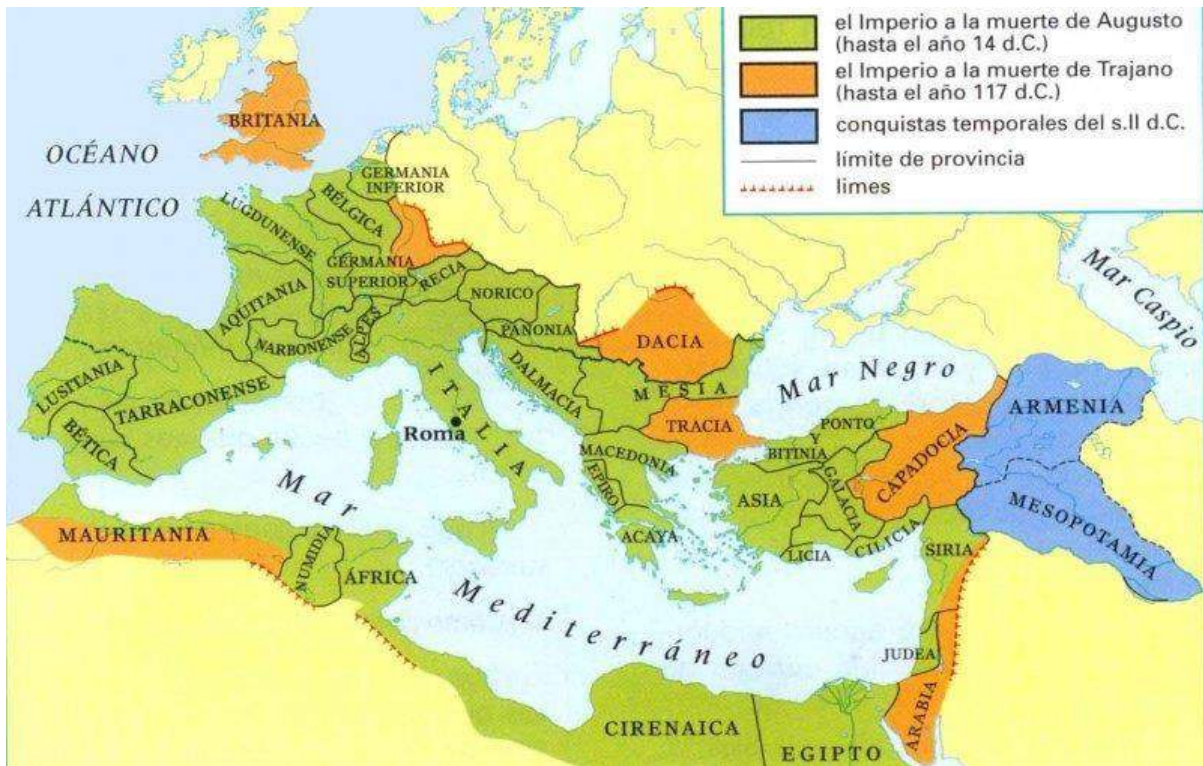


Figura 1.4. Imperio Romano, en <http://www.historiantigua.cl/roma/cartografia/>

Aunque los historiadores dividen la Edad Media en Alta Edad Media y Baja Edad Media, si la separamos en tres períodos, tenemos:

<i>Período</i>	<i>Siglos</i>	<i>Sistema</i>	<i>Exponentes</i>	<i>Filósofos</i>
<i>Temprana Edad Media</i>	V VI VII	<i>Reinos Germano-romanos</i>	<i>San Agustín Platón</i>	<i>Patrística</i>
<i>Alta Edad Media</i>	VIII y IX	<i>Imperio Carolingio</i>		
<i>Baja Edad Media</i>	X, XI y XII	<i>Feudalismo</i>	<i>Tomás Moro Aristóteles</i>	<i>Escolástica</i>
<i>Edad media tardía</i>	XIII, XIV y XV	<i>Los burgos</i>		

Cuadro 1.2: La Edad Media: Etapas. Por Claudia Torres Arango (2014), Edad Media y Renacimiento. Contexto de Astronomía UN.

La expresión “ciencia medieval” se refiere a los descubrimientos de la filosofía natural del periodo intermedio de la Edad Media, ocurridos tras los tiempos confusos que preceden la caída del Imperio Romano, al haberse perdido el acceso a los tratados científicos de la antigüedad clásica, y de los cuales solo se mantenían las compilaciones resumidas y sucesivas traducciones del griego al latín. Sin embargo, con el inicio de la llamada Revolución del siglo XII, se reavivó el interés por la investigación de la naturaleza en el periodo dorado de la filosofía escolástica, que le daba énfasis a la lógica y al empirismo, entendiendo la naturaleza como un sistema coherente de leyes que podrían ser explicadas por la razón.

Con esa visión racional los sabios medievales se lanzaron a conocer los fenómenos naturales, obteniendo avances en la metodología científica y la física, los cuales fueron interrumpidos por la Peste Negra ocurrida en el siglo XIV y que alcanzó un punto máximo entre 1347 y 1353, y desconocidos por el público contemporáneo, en parte por resultar hoy obsoletas o por el estereotipo que califica el medioevo como un período de tinieblas.

A través de las Cruzadas y de la Reconquista de la Península Ibérica, se dio el contacto de Europa con el mundo oriental y árabe, en tiempos en que el mundo islámico se encontraba avanzado intelectual y científicamente. Los autores árabes que habían mantenido un contacto regular con las obras clásicas griegas, les permitieron a los pueblos occidentales retomar sus raíces eruditas ya olvidadas.

El legado de la astronomía griega pasó en los siglos X a XV a manos de los **árabes** principalmente. Tradujeron la obra de Ptolomeo, el Almagesto; a muchas de las principales estrellas de las constelaciones les dieron nombres especiales que aún hoy se conservan, y confeccionaron diversos catálogos de estrellas y tablas planetarias. Debe advertirse que muchos de los nombres babilónicos o persas, de las estrellas, son luego tomados y traducidos a su lengua por los griegos, para que los árabes les hagan suyos después, y finalmente, lleguen a los **sabios alfonsíes** quienes los acuñan en castellano y arabismos.

Alrededor del año 1150, se fundan las primeras universidades medievales – Bolonia (1088), París (1150) y Oxford (1167) — las cuales en 1500 ya serían más de setenta, dedicadas a la investigación y producción del saber, y sirviendo de focos de debates y polémicas. En 1200 ya había traducciones latinas razonablemente precisas de los principales trabajos de los autores antiguos más cruciales para la filosofía: Aristóteles, Platón, Euclides, Ptolomeo, Arquímedes y Galeno.

Entre los físicos naturalistas, sobresalen Thierry de Chartres 1100-1150, Roger Bacon 1214-1294, Pietro d'Abano 1250-1316, Juan Buridan 1300-1358, Nicolás de Oresme 1323-1382, Nicolás de Cusa 1401-1464, Paolo Toscanelli 1397-1482, Robert Grosseteste 1175-1253, Alberto Magno 1200-1280 y Duns Scoto 1266-1308.

También se destacan Boecio (480 a 524), Cosmas Indicopleustes de Alejandría S. VI, Isidoro de Sevilla (570 a 636), Beda el Venerable de Inglaterra (673 a 735), Al-Manzur de Bagdad (siglo VIII) Harun Al Raschid (765-809), Thabit Ven Qurrah (836-901), Al Battani (868-929), Al Fargani (siglo IX), Ibn al Haytham (965-1039), Abubacer (? -1185), Averroes (1126-1198), Alfonso X el Sabio en Toledo (1221-1284), Pietro D'Abano (1250-1316), Tomas de Aquino (1225-1274), Jean Burilán (1300-1358) y Nicolás de Cusa (1401-1464)



### 1.7. EL RENACIMIENTO.

Este período es el punto de llegada del humanismo caracterizado por un amplio movimiento cultural que se da en Europa Occidental durante los siglos XV y XVI, durante la transición entre la Edad Media y los inicios de la Edad Moderna, puesto que va desde 1492 que se descubre América o desde la caída de Constantinopla en 1453, hasta 1529 cuando Soliman ocupa a Viena, o si se quiere hasta el asalto de la Bastilla a finales del siglo XVIII. Sus principales exponentes no sólo se corresponden con el campo de las artes, sino también con el de las ciencias, tanto naturales como humanas.

Entre los hechos políticos, sociales y tecnológicos dignos de mención, tenemos: la fabricación y utilización masiva de la pólvora y el papel; la invención de la imprenta con tipos móviles y brújula; el humanismo y el iluminismo; el descubrimiento de América y sus conquistas; la reforma y contrarreforma religiosa; y la nueva visión cosmológica del mundo en el Universo.



Figura 1.5. Europa a mediados del siglo XIV, en: [www.pais-global.com.ar](http://www.pais-global.com.ar)

Además de estancar el proceso de innovación, la peste negra fue uno de los factores que pusieron en jaque todo el modelo de sociedad que había encontrado su apogeo los siglos anteriores. El siglo XV presencié el inicio del florecimiento artístico y cultural del Renacimiento.

Entre las mejoras que se logran, tenemos: la desaparición casi total de la peste negra; los productos rurales como una novedad comercial para la burguesía; la resiembra de tierras abandonas en época de la peste; la recuperaron tierras no cultivables como zonas de bosques y humedales; el surgimiento de nuevas técnicas de sembrado e invento de elementos de labranzas; el incremento de la productividad agropecuaria y la inversión en sectores rurales.

Después de la Caída de Constantinopla, a mediados del siglo XV se acelera el redescubrimiento de textos antiguos, cuando muchos eruditos bizantinos buscan refugio en Occidente, especialmente en Italia. Dicho influjo alimentó el creciente interés de los académicos europeos por los textos clásicos. En el siglo XVI empieza a darse, además del interés por la civilización clásica, un menosprecio por la edad media, que pasó a ser prejuiciosamente calificada como un período de "barbarismo", "ignorancia" y "oscuridad".

Si bien Leonardo da Vinci (1452-1519), arquitecto, escultor, pintor, inventor, ingeniero, es un ejemplo de la mezcla de arte y ciencia típica del Renacimiento, también el humanismo renacentista que rompe con la visión teocéntrica y con la concepción filosófico-teológica medieval, trae conceptos como la dignidad del ser humano, y logra que el humanismo represente la ruptura con la importancia que se le venía dando a las ciencias naturales desde el redescubrimiento de Aristóteles, en el siglo XII.

A pesar del florecimiento artístico, en el periodo inicial del Renacimiento se da poco desarrollo a la física y astronomía, y el apego a los escritos antiguos enraíza más las visiones ptolemaica y aristotélica del universo. En contraste con la escolástica, el llamado naturalismo renacentista pasó a ver el universo como una creación espiritual que opaca a la racionalidad, al mismo tiempo que la filosofía perdió mucho de su rigor cuando las reglas de la lógica pasaron a ser secundarias frente a la intuición o la emoción.

Por otro lado, la invención de la imprenta, tendría gran efecto en la sociedad europea, al facilitar la difusión de la palabra escrita, democratizando el aprendizaje y permitiendo la propagación rápida de las nuevas ideas y del conocimiento, lo cual facilita la revolución científica después de haber llegado el movimiento renacentista al norte de Europa, con figuras como Nicolás Copérnico, Francis Bacon y René Descartes.

La verdadera invención de La Imprenta, se le atribuye al orfebre grabador e impresor alemán Johannes Gutenberg (1400-1468), cuyo mérito fue el de fundir letras sueltas y adaptar una prensa de uvas renana para la impresión de pliegos de papel en 1440. Peter Schöffer, fue quien concibió los punzones para hacer las matrices y fundirlas en serie y Johan Fust, quien aportó el capital para llevar a buen término la genial empresa. En el Museo de Bruselas se conserva una xilografía de 1418, que representa a la Virgen rodeada de cuatro santos; es la más antigua de las obras conocida.

Las etapas históricas del Renacimiento, son: la primera correspondiente al siglo XV, que es denominada Quattrocento, comprende el Primer Renacimiento o Bajo Renacimiento, que se desarrolla en Italia. La segunda etapa, que surge en el siglo XVI se denomina Cinquecento; su dominio artístico está referido al clasicismo o Alto Renacimiento que se centra en el primer cuarto del siglo. Es la etapa del apogeo del arte renacentista donde surgen las grandes figuras de las artes: Leonardo, Miguel Ángel, Rafael. Mientras que en Italia se estaba desarrollando el Renacimiento, en el resto de Europa se mantiene el arte gótico en sus formas tardías.

Con el arte gótico, que había surgido a la par cuando se desarrollaron la burguesía y las universidades, y que venía coincidiendo con el resurgimiento de las ciudades, había logrado independizar a otras artes plásticas, como la pintura y escultura, de su subordinación al soporte arquitectónico. Veamos algo sobre los astrónomos notables:

Empecemos por **Nicolás Copérnico** (1473-1543). Mientras el sistema de Ptolomeo era geocéntrico, Nicolás Copérnico, al igual que Aristarco lo había hecho diecinueve siglos antes, le apuesta al modelo Heliocéntrico del Universo, un modelo más simple que ofrece resultados más precisos, aunque contemplando órbitas planetarias circulares, bajo la premisa de que esa era la trayectoria de los cuerpos en el mundo supralunar.

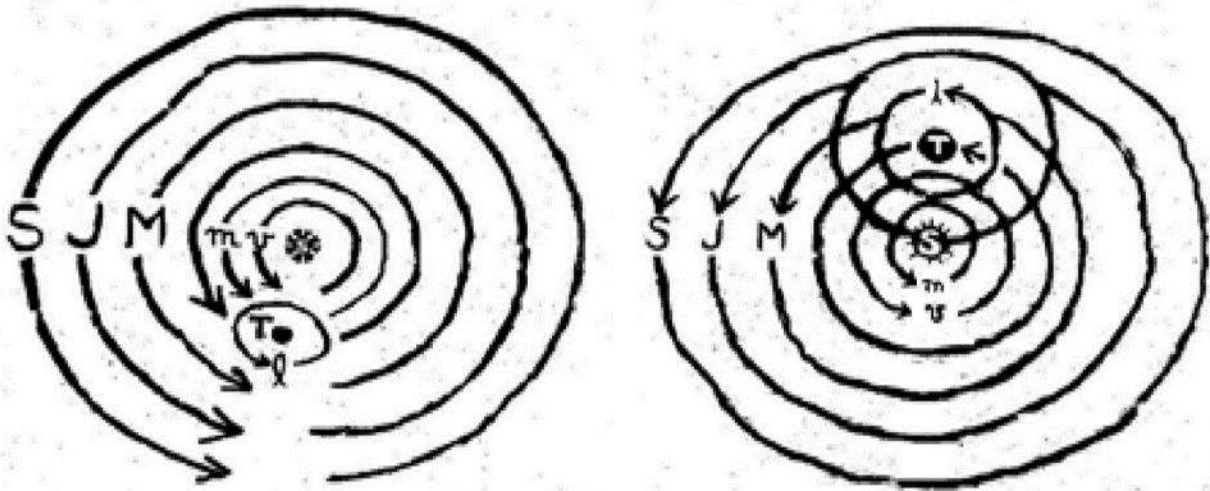


Figura 1.6. Modelos de Copérnico y de Brahe: S, J, y M son Saturno, Júpiter y Marte, TY es la Tierra y S el Sol. Con minúsculas, la Luna, Mercurio y Venus. Los demás planetas no se conocen.

Así entonces, **Copérnico** quien es considerado el verdadero artífice de la nueva astronomía, basado en la lectura de autores antiguos que hacían referencia al sistema heliocéntrico de Aristarco de Samos, al observar lo improbable del Sistema Ptolemaico, apoyado no tanto por mediciones y observaciones como por razonamientos teóricos, escribió el *Commentariolus* sobre la arquitectura del sistema planetario donde postula que la Tierra gira alrededor de su eje y que ésta y los planetas se mueven **alrededor del Sol**.

Lo cierto es que con las teorías copernicanas no se podían obtener predicciones precisas de los movimientos planetarios, por lo que se vio obligado a introducir gran número de epiciclos y al uso de deferentes, para que la teoría coincidiera hasta cierto punto con los hechos. El problema estribaba en que Copérnico se limitó a órbitas circulares, admitiendo la perfección de los cielos y por lo tanto la velocidad constante de los planetas.

La nueva concepción del mundo no provocó mayor preocupación, mientras no se extrajo de ella la inquietante

consecuencia de que, si la Tierra no ocupa una situación privilegiada en el Universo, tampoco existen privilegios sociales que sean absolutos e inmodificables.

Esta abolición de los privilegios dentro de la naturaleza, y por ende en la sociedad, expresada abiertamente con plena transparencia, constituyó el meollo del pensamiento copernicano que el más grande filósofo del renacimiento, **Giordano Bruno**, propagó por toda Europa hasta ser excomulgado por las iglesias Católica, Luterana y Calvinista, condenado a prisión en las mazmorras de la Santa Inquisición durante siete años y terminar por ser quemado vivo en Roma a sus 52 años, el 17 de febrero del año 1600, sin que se haya retractado de su herética posición.

- **Tycho Brahe** (1546-1601) - **Johannes Kepler** (1571-1630). Brahe, desde los observatorios de Dinamarca, observa entre otras cosas la órbita de Marte con grandes cuadrantes de pared. Fueron estas las medidas de posición astronómica más precisas antes de la invención del telescopio, pues el error medio en las determinaciones de los astros era del orden de los 2' de arco.

Tycho Brahe también propuso un sistema intermedio, con la Tierra como centro, circundada por la Luna y el Sol, y este a su vez circundado por los planetas, pero los demás cuerpos celestes girando en torno al Sol por ser el centro del Universo.

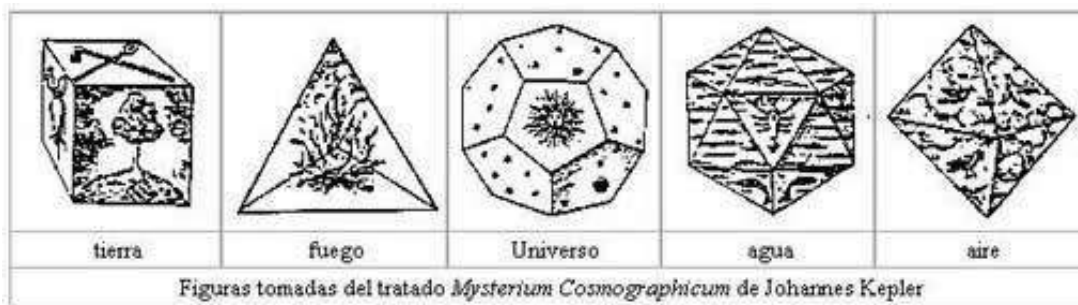


Figura 1.7: Los cinco poliedros perfectos: el cubo (6 caras), el tetraedro (4 caras), el dodecaedro (12 caras), el icosaedro (20 caras) y el octaedro (8 caras). Fuente: [www.conalasypies.com.ar](http://www.conalasypies.com.ar)

Ya en Praga nombra ayudante suyo a Kepler, de quien conoció su obra *Mysterium Cosmographicum*. Interesado en que Kepler le diera soporte a su modelo con las observaciones hechas, le entrega el caso de Marte con siete epiciclos: Kepler que promete resolver el problema en 8 días tarda 8 años. A la muerte de Brahe, Kepler evalúa las observaciones de Marte y en 1609 publica su *Astronomía Nova*, con las dos primeras leyes que señalan el movimiento elíptico con el Sol en un foco de la elipse, y las áreas barridas por los radiovectores planetarios donde la velocidad de los planetas es variable. La tercera ley que relaciona los períodos de revolución y los ejes mayores de las órbitas, se publica en 1619 en su obra *Harmonices Mundi*. Son aportes de Kepler, además, la creación de la ciencia-ficción con un cuento de un viaje a la Luna, el principio de la acción lunar en las mareas, y el principio de la cámara oscura como su funcionamiento en la óptica del ojo.

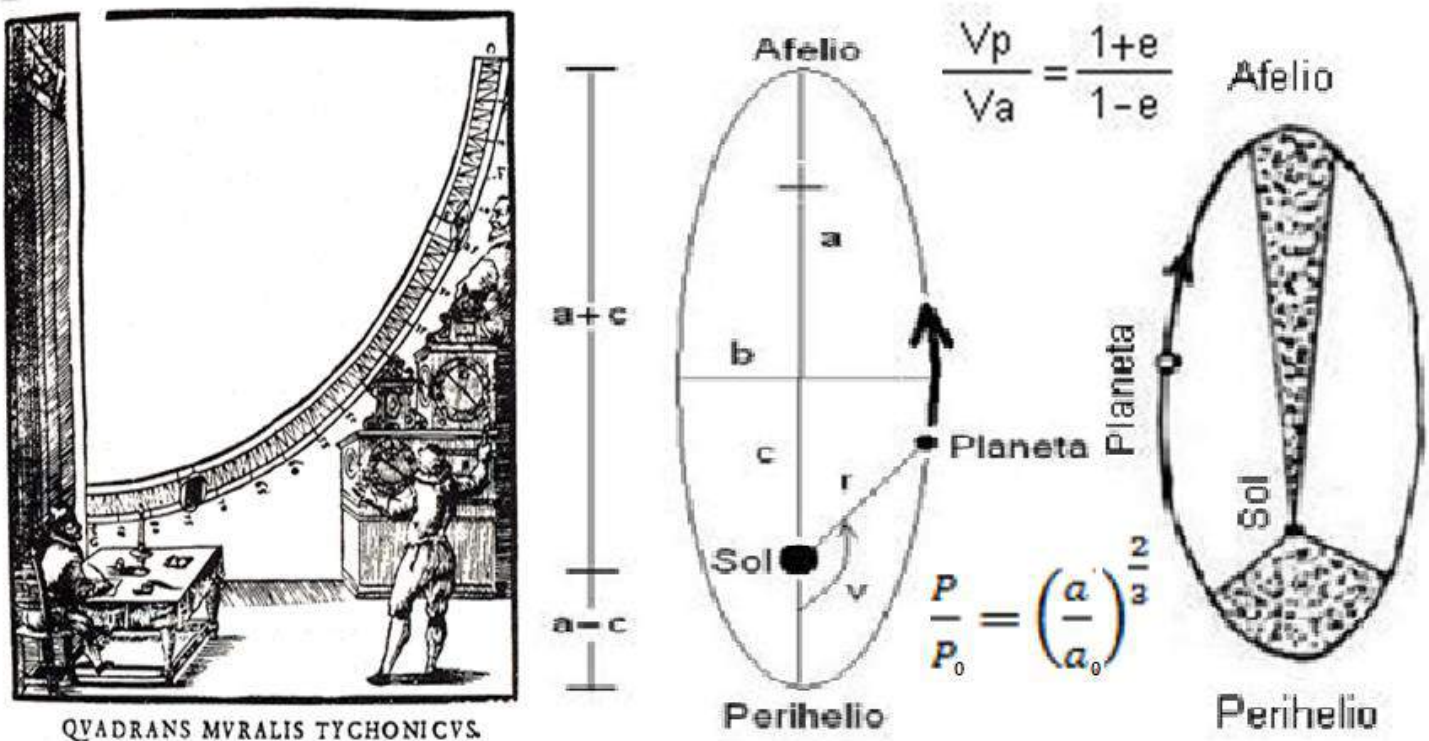


Imagen 1-8A: Izq. Cuadrante de pared construido por Tycho Brahe <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/>. Der. Modelo de Kepler. en Newton: <http://bdigital.unal.edu.co/1668/>

Kepler, quien había iniciado su carrera eclesiástica en la universidad de Tubinga, y quien fue discípulo del

astrónomo copernicano Michael Maestlin, escribió en 1596 “Misterio cosmográfico”, obra que le valió el interés de Tycho Brahe. En un principio Kepler consideró que el movimiento de los planetas debía cumplir las leyes pitagóricas de la armonía. Esta teoría es conocida como la música o la armonía de las esferas celestes. Firme partidario del modelo copernicano, intentó demostrar que las distancias de los planetas al Sol venían dadas por esferas en el interior de poliedros perfectos, anidadas sucesivamente unas en el interior de otras.

Buscando una respuesta a la geometría de las órbitas planetarias, en 1595 concluye: la magnitud de las mismas, debe responder a los acoplamientos que se den al acomodar entre sí cinco los sólidos perfectos. Seguidor de Copérnico, Kepler intentó comprender las leyes del movimiento planetario durante su vida. En un principio consideró que los planetas debían cumplir las leyes pitagóricas de la armonía de las esferas celestes. En su visión cosmológica no era casualidad que el número de planetas conocidos en su época fuera uno más que el número de poliedros perfectos. Siendo un firme partidario del modelo copernicano, intentó demostrar que las distancias de los planetas al Sol venían dadas por esferas en el interior de poliedros perfectos, anidadas sucesivamente unas en el interior de otras.

En 1604 Kepler publica “Ad Vitellionem paralipomena, quibus astronomiae pars optica traditur”, un tratado dividido en once capítulos, los cinco primeros dedicados a cuestiones de óptica y los restantes de astronomía. Allí, formula la Ley de la “relación inversa entre intensidad de la luz y el cuadrado de la distancia”. También, en su manuscrito *Astronomiae Pars Optica* (1604), se ocupa de la reflexión por espejos curvos y planos, de la paralaje y de los tamaños aparentes de los cuerpos celestes.

- **Galileo Galilei** (1564-1642). Fue un defensor de la teoría copernicana, lo que le trajo grandes conflictos con la Inquisición de Roma, donde se le prohibió seguir defendiendo este sistema. No obstante, era la teoría de la transubstanciación referida al sacramento de la Eucaristía, y no la teoría geocéntrica, el verdadero meollo del problema.

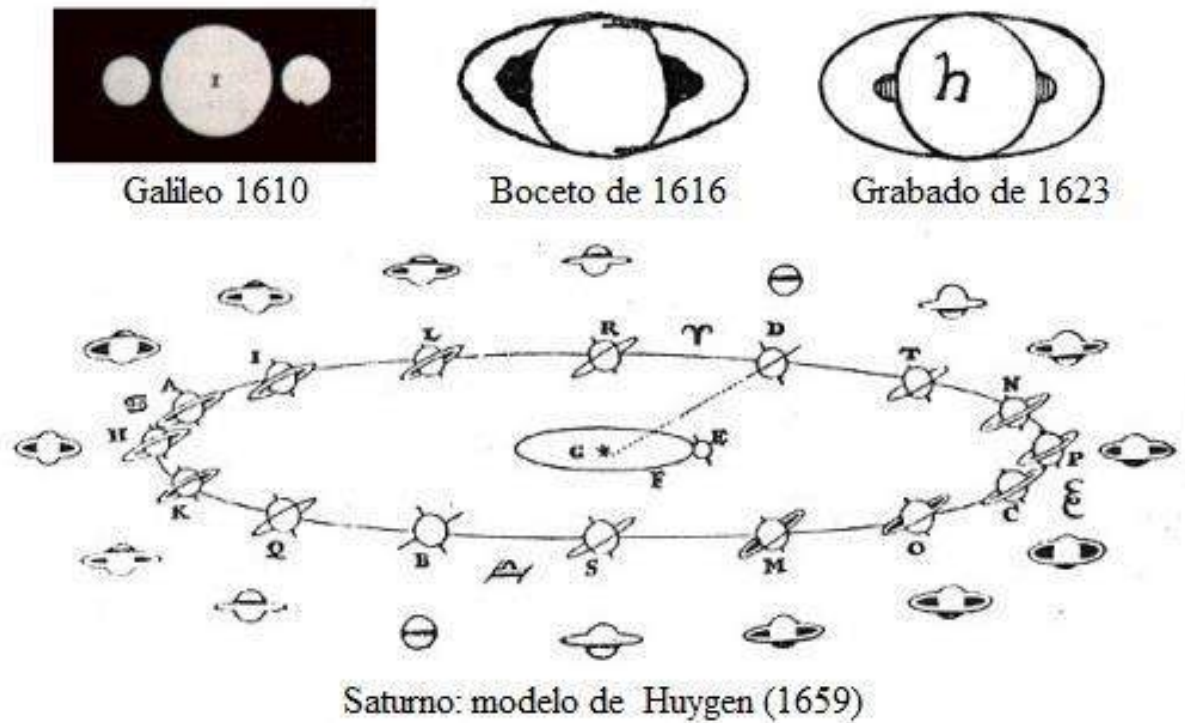


Figura 1.8B. Interpretando a Saturno: Arriba, representado por Galileo en julio de 1610 (izquierda), boceto de 1616 con un mejor telescopio (centro), y grabado de 1623 (derecha). Abajo, modelo de Huygen (1659) explicando los cambios de forma. Fuentes: <https://hubpages.com> y <http://galileo.rice.edu>

Este astrónomo que en 1610, al descubrir los cuatro satélites de Júpiter, encuentra la comprobación objetiva de la teoría copernicana, también descubrió las leyes de la caída libre, de la inercia, de la oscilación del péndulo y los principios de escala en la resistencia de materiales. Con Galileo se inicia la Física moderna, al introducir el Método Científico y al transformar el tiempo, de una función discreta (días, horas...) a una función continua (velocidad, aceleración).

Desde 1609 construyó un telescopio e hizo hallazgos y observaciones (manchas solares, cuatro lunas de Júpiter, fases de Venus, montañas lunares, etc.), que publicó en 1610 en Siderius Nuncius. Con las fases de Venus, advierte la rotación de este planeta entorno al Sol y no a la Tierra.

La difusión del telescopio indujo en el siglo XVII una oleada de nuevos descubrimientos. Entre los astrónomos



de ésta época tenemos a Simón Marius (lunas de Júpiter, detección de la nebulosa de Andrómeda en 1612), Christoph Scheiner (primera obra sistemática de las manchas solares), Johannes Hevelius (observaciones de la Luna y los cometas), Christian Huygens (descubrimiento del anillo de Saturno y de Titán el mayor satélite del planeta), Giovanni Doménico Cassini (hizo numerosas observaciones planetarias, descubrió cuatro satélites de Saturno), Olaus Römer (determinación de la velocidad de la luz a partir de los eclipses de los satélites de Júpiter), John Flamsteed (fundación del observatorio de Greenwich en 1675, catálogo estelar).

- **Isaac Newton** (1643-1727). Nacido un año después de muerto Galileo, es el creador de la **Ley de Gravitación Universal**, según la cual la caída de las manzanas y el movimiento de los astros, se rigen por una misma fuerza. He aquí la importancia de dicha ley expresada como una teoría matemática capaz de explicar el movimiento de los cuerpos celestes.

-

En 1671 construyó un telescopio reflector, y al tiempo revoluciona los principios de la óptica con su descubrimiento de los colores en el espectro visible. Además, para sus desarrollos creó su propia herramienta: el cálculo diferencial (que denominó Fluxiones), cuando contemporáneamente lo hacía Leibniz, por separado.

El descubrimiento de la Ley de la Gravitación Universal permitió, no sólo asentar el sistema copernicano sino, aumentar la precisión de los cálculos de órbitas lunares y planetarias, pues la ley también tenía en cuenta las perturbaciones gravitatorias entre los cuerpos que intervienen.

En el siglo XVIII y principios del XIX la mecánica celeste se desarrolla. No existe el computador. **Halley** calcula la órbita elíptica del cometa de 1682. **Kant** atribuye en 1755 la génesis del sistema solar a un proceso mecánico. **Lagrange** estudia en 1788 el conocido problema de los tres cuerpos y algunos casos especiales con solución. **Laplace** publica en 1799 su Mecánica Celeste y descubre la invariabilidad del eje mayor de las órbitas planetarias. **Leverrier** y **Adams** predicen la existencia de Neptuno por las perturbaciones que sufre Urano y el planeta es descubierto en 1846 en el Observatorio de Berlín. **Bessel** deduce en 1844, por las perturbaciones del movimiento propio de Sirio, la existencia de su compañera desconocida, la que efectivamente

También, la técnica instrumental maduró en los siglos XVIII y XIX, lo mismo que las técnicas y métodos de medida experimentan un avance continuo. Nacen los primeros catálogos estelares. Con las investigaciones sobre el espectro solar y las rayas oscuras que llevan su nombre (1814), con la creación del análisis espectral por **R. W. Bunsen** y **G. R. Kirchhoff** (1895) y con la introducción de los métodos de fotografía y los fotómetros en la segunda mitad del siglo XIX, se funda la astrofísica.

### **1.8. LA ASTRONOMIA MODERNA Y CONTEMPORANEA.**

- **Edwin Hubble** (1889-1953). La época grande de la cosmología se inicia a principios del siglo XX con la construcción de grandes telescopios como el de Monte Wilson California (100 pulgadas). En 1917 los astrónomos identifican estrellas individuales en galaxias cercanas. Se inicia la gran discusión entre **Curtis** y **Shapley**, el primero sosteniendo la existencia de Universos islas y el segundo, un verdadero experto en estrellas cefeidas, resistiéndose a que nuestra galaxia perdiera su condición de privilegio; en el Smithsonian, el 26 de abril de 1920 confrontan sus tesis como si se tratara de Copérnico y Ptolomeo. Para 1924 Hubble había descubierto 36 cefeidas en "nebulosas" espirales (galaxias) extendiéndose así y de manera definitiva, el tamaño del Universo más allá de la Vía Láctea.

**Hubble** utiliza esos faros del Universo, constituidos por estrellas variables pulsantes de período regular. En 1929 da una noticia sorprendente, por su simplicidad y trascendencia, en un trabajo suyo titulado "Una relación entre la distancia y la velocidad radial de las nebulosas extragalácticas", en el que advierte que mientras más lejos está una galaxia, con mayor velocidad se aleja de nosotros; en esta relación, a doble distancia doble velocidad de recesión, a triple distancia triple velocidad de recesión... Las consecuencias: el Universo se expande. Ese Universo homogéneo e isótropo, que se expande de forma relativista, que según Lemaitre debió nacer de una explosión, tiene un límite constituido por su tejido de expansión, cuyos cuerpos viajan aproximándose a la velocidad de la luz.

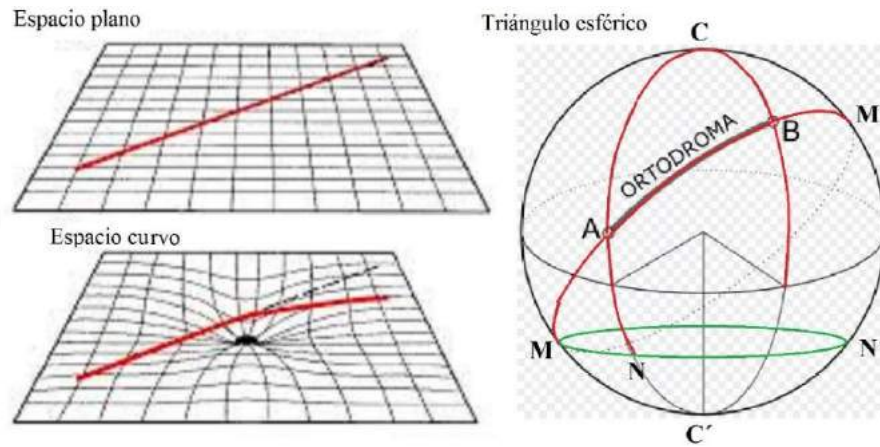


Figura 1.9: Curvatura del espacio en R2. El círculo máximo, y no el círculo menor (verde), marca la menor curvatura sobre la superficie de una esfera.

- **Albert Einstein** (1879-1955) y **Stephen Hawking** (1942-2019). A. Einstein elimina el concepto newtoniano de espacio absoluto y demuestra que la luz es onda y partícula. Con su expresión  $E=mc^2$  de 1905, al formular la Teoría Especial de la Relatividad TER, los cuerpos pueden convertirse en luz y viceversa: Materia y Energía son entonces dos aspectos de la misma cosa. En 1916 publica la Teoría General de la Relatividad TGR, que considera la aceleración de los cuerpos y con la cual la gravedad se explica, no como una fuerza a distancia sino, como la deformación del Espacio-Tiempo causado por la masa de los astros: La Masa le dice al Espacio como se curva y el Espacio le dice a la Masa como se mueve.

El soporte para la TER y la TGR está en la teoría Electromagnética de **Maxwell** (1831-1879), en el concepto de campo de **Hertz** (1857-1894) y **Lorentz** (1853-1928), y en el espacio seudo euclídeo de **Minkowsky** (1864-1909) y la geometría curva de **Riemann** (1826-1866). En 1926 Einstein prueba la existencia de los átomos con sus estudios sobre el movimiento Browniano, cuyo efecto se ve en el humo. Los aportes de A. Einstein, al lado de la Teoría Cuántica de **Max Plank** (1858-1947), la Teoría Atómica de **Niels Born** (1885-1962) y la Nueva Teoría Cuántica de 1925, permiten rehacer los fundamentos de la concepción del Universo.

El inglés **S. Hawking**, el más famoso de los cosmólogos actuales, articula dos grandes Teorías: la Teoría General de la Relatividad y la Mecánica Cuántica. Con ellas ha entrado al Horizonte de sucesos de los Agujeros Negros y al momento del Big-Bang. Puede resolver la singularidad del Big-Bang con la incorporación del tiempo complejo. Entre sus aportes está el de que los agujeros negros irradian, tienen temperatura y entropía, y el cambio del concepto de Universo determinístico por el de Universo probable.

El Universo de Stephen Hawking supone tres conceptos:

- 1. Inflación.
- 2. Fluctuaciones cuánticas.
- 3. Principio Antrópico.

Las fluctuaciones cuánticas del Universo de Hawking, punto de partida para explicar el origen de las galaxias, se han podido comprobar con los espectaculares resultados en las medidas absolutas y diferenciales de la radiación de fondo, observadas por el proyecto COBE, desde 1989 a 1992.

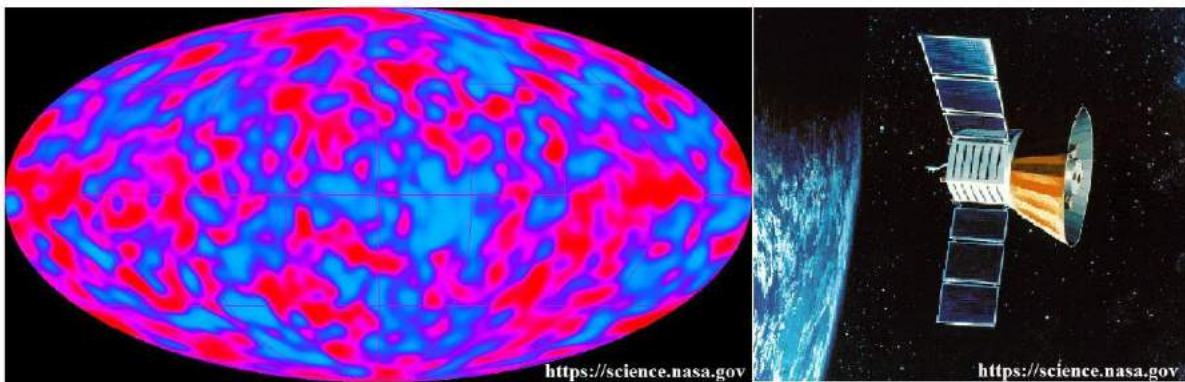


Figura 1.10. Proyecto COBE: mapa de las anisotropías de la radiación de fondo de microondas CMB, formado con los datos tomados por la nave COBE, y Explorador del Fondo Cósmico COBE Fuente, en Wikipedia ( <https://science.nasa.gov> )

Hoy los **Modelos Cosmológicos** y la **Astronomía Observacional** se muestran como poderosos soportes y única vía para continuar el desarrollo que antes pudieron jalonar los grandes aceleradores de partículas. Ahora es poco viable recurrir a los procedimientos de antes a causa del enorme costo que tienen los métodos instrumentales de la física de partículas, para avanzar en el conocimiento del Universo y de las leyes que rigen el cosmos.

### 1.9 GALILEO: EL CONFLICTO ENTRE LA RAZON Y EL PODER.

Sea esta la oportunidad para brindar un homenaje a la obra y pensamiento de Galileo Galilei, desde Colombia, tal cual lo venimos haciendo a lo largo del año, sumándonos en particular con diferentes eventos de la nutrida programación en curso para el calendario astronómico del 2009, ofrecida a lo largo y ancho de la geografía de la patria, y en general al mantener vigentes desde siempre los objetivos del Año Internacional de la Astronomía IYA 2009, propuestos por la Unión Astronómica Internacional UAI.



Figura 1.11: Galileo ante el Santo Oficio: pintura de Joseph-Nicolas Robert-Fleury en: Wikipedia.

Honramos al italiano Galileo porque sabemos que en su época fue el centro del conflicto entre dos fuerzas, que siempre han de antagonizar: las que empleando métodos inquisidores buscan preservar la verdad en bien del establecimiento y las que auscultando la verdad mediante pruebas de soporte emplean procesos inductivos que sustituyen la vía de las deducciones y de los prejuicios. Con su método observacional el Renacentista de la Toscana, logró proteger de la subjetividad el conocimiento, y la razón se impuso.

Así, siguiendo el camino trazado por el “Padre de la Astronomía Moderna”, perfeccionando su método con los fundamentos y preceptos del conocimiento científico, hemos logrado replantear para la ciencia los problemas fundamentales de su filosofía, teoría y gnoseología, así no hayamos logrado dar alivio a las contradicciones que en materia de progreso plantea el mundo moderno, máxime cuando el conocimiento como factor de producción empieza a tener protagonismo. La problemática económica, social y ambiental, de hoy, exige mayores esfuerzos de una intelectualidad libre de consensos coactivos, y por lo tanto de la presencia de una comunidad de científicos sociales y no sociales, comprometida.

Con Galileo recordamos hoy a hombres y mujeres librepensadores que desde la ciencia le han apostado a un proyecto de vida, como “obreros de la cultura”. Para ellos y ellas, nuestro reconocimiento por una labor quijotesca, normalmente no valorada en su momento y casi siempre incomprensida, pero siempre triunfal frente al inequívoco veredicto de la historia, como consecuencia de un juicio extenso en el tiempo, donde los hechos de bien se constituyen en pruebas irrefutables. Desde el OAM, Ed. Circular RAC 536. Octubre 16, 2009.

### 1.10- NEWTON, EINSTEIN Y HAWKING



Figura 1.12. Newton, Einstein y Hawking (BBC, Wikipedia y Wikiwand).

Newton y Hawking, compartieron la Cátedra Lucasiana de la Universidad de Cambridge. Newton fue su segundo miembro, entre 1669 y 1702, y Hawking el decimoséptimo de 1980 a 2009. Ambos la alcanzaron a edad temprana -26 años el primero, 38 el segundo- y la abandonaron ancianos: Newton a los 60 años y Hawking a los 67.

Para **Isaac Newton** (1642-1727), la década más creativa es la de 1660: matemática, óptica y algo de la teoría de gravitación universal. Cuando empezó a establecer un método inductivo correcto en física, trabajaba la óptica, no la cinemática ni la astronomía. Mucho antes de que los Principia le hicieran popular, investigó sobre la luz y los colores, y elaboró un estudio considerado como “la más excelsa investigación experimental del siglo XVII. Allí se pregunta por qué los materiales tienen transparencias diferentes, por qué la refracción en agua caliente es ligeramente menor que en agua fría, o por qué el carbón es negro mientras la ceniza es blanca.

Anota que “los colores surgen tanto a partir de sombras entremezcladas con luz, o por reflexiones más fuertes o más débiles; de partes del objeto mezcladas con la luz y transportadas por ella”. Pero su obra más fundamental y trascendente, fue los Principia, considerada la más importante en la historia de la ciencia. Escrita en latín, entrega un trabajo deductivo en el que las propiedades mecánicas se demuestran mediante teoremas a partir de proposiciones generales, para establecer los fundamentos de la hidrostática, la hidrodinámica y la acústica.

Newton, quien sistematizó un método para el estudio de la naturaleza por medio de la matemática, cerró con un gran broche de oro la llamada Revolución Científica que se inició en Europa hacia el final de la época del Renacimiento y continuó a través del siglo XVIII, y que se refiere a la época en que se sentaron las bases de la ciencia moderna. La Revolución Científica, explica el surgimiento de la ciencia durante la Edad moderna temprana, asociada principalmente con los siglos XVI y XVII, en que nuevas ideas y conocimientos en física, astronomía, ciencias de la vida y química, transformaron las visiones antiguas y medievales sobre la naturaleza y sentaron las bases de la ciencia clásica. Pero a pesar de los beneficios de aplicar la ciencia a través de la industrialización, a partir de la Revolución Industrial (1760 - 1840) que nace en Inglaterra a finales del siglo XVIII con el invento de la máquina de vapor, la humanidad se ha olvidado del respeto por la naturaleza que tuvo Newton.

En cuanto **Albert Einstein** (1879-1955), quien desecha los conceptos newtonianos de Tiempo universal y Espacio absoluto, postula que en la naturaleza existe un límite, la velocidad de la luz, “c” que es una constante. La métrica que describe formalmente la expansión en el modelo estándar del Big Bang se conoce como Métrica de Friedman Lemaitre- Robertson- Walker. El Universo estático que Einstein consideró inicialmente en la Teoría General de la Relatividad, difiere fundamentalmente del Universo en expansión que Edwin Hubble (1889-1953) descubre en la recesión de las galaxias, y que presenta en 1929. El propio espacio-tiempo posee una métrica que cambia con el tiempo, conforme el Universo se expande.

La idea de Einstein es la del espacio curvo, y para ella aprendió de Marcel Grossman (1878-1936) la geometría de Riemann, del modo como lo hizo Hawking con Roger Penrose (1931-) para aprender técnicas topológicas de la teoría de las singularidades, aplicables a los agujeros negros. En su Teoría de la Relatividad Especial de 1905, presenta la ecuación de la física más conocida a nivel popular  $E=mc^2$  que revela la equivalencia entre masa y energía.

El 25 de noviembre de 1915 en la Academia Prusiana Albert Einstein presentó su Ley de la Relatividad General del espacio curvo y el espacio retorcido. El profesor de 36 años había producido un conjunto de ecuaciones que relacionaba la distribución de la masa y la forma del espacio en el Universo. La materia le indica al espacio como curvarse y éste a ella como moverse. Esta era una nueva forma de describir la gravitación, sin fuerzas.

Para pasar de la Teoría Especial de la Relatividad a la Teoría General de la Relatividad, fueron claves para Albert Einstein los aportes de: Maxwell (1831-1879) en el electromagnetismo; de Hertz (1857-1894) y Lorentz (1853-1928) en el concepto de campo; y de Minkowsky (1864-1909) y Riemann (1826-1866), sobre espacio pseudo euclídeo y geometría curva de radio constante. Según Albert Einstein si cuando un cuerpo queda libre de toda fuerza con su trayectoria mostrará la forma del espacio tiempo contrario a lo que aporta la física clásica, entonces la geometría del Universo no es euclidiana, sino en cuatro dimensiones, y además cerrado e finito. La Teoría General de la Relatividad y la Teoría Especial de la Relatividad, cambian y transforman los conceptos de distancia y de duración.



Finalmente, **Stephen Hawking** (1942-2018), el connotado sucesor de la Cátedra Lucasiana nacido en Oxford y muerto a la edad de 76 años, quien se convirtió en vida una figura legendaria de dimensiones trágicas: científico brillante; autor de la “Breve historia del tiempo; confinado a una silla de ruedas; imposibilitado para hablar y escribir; y con gran dominio de dos grandes teorías físicas: La Relatividad General y la Mecánica Cuántica. En ellas encontró dos puntos de insuficiencia y superposición, como son los bordes de los agujeros negros y el origen del Universo.

Hawking no tendrá a Fred Hoyle (1915-2001) como supervisor de su tesis, sino al astrofísico y cosmólogo Dennis William Sciama (1926–1999). Con Hawking nace una nueva era de la cosmología moderna: osadamente tituló su tesis “Propiedades de los Universos en Expansión”. En el primer capítulo se advierte que el Universo en expansión será un escollo para la teoría de Hoyle y Narlikar. Hoyle es el más conocido defensor de la “Teoría del Estado Estacionario del Universo”, al lado de dos refugiados de la Europa nazi: Herman Bondi y Thomas Gold.

La gran contribución de Stephen Hawking es entonces que el Universo comenzó con una gran explosión, desde un estado caliente y denso de materia, desde una singularidad, y esto se ajusta a lo observado por Hubble en 1929. Para estimar un límite inferior en la edad del Universo, además de estimar la actual composición del Universo, o el valor de la constante de Hubble que relaciona el radio del Universo con su edad, se puede recurrir a técnicas de datación, relacionadas con: la vida media de los elementos químicos producto de elementos que se desintegran, en rocas; la edad de los cúmulos globulares que conforman el halo de la galaxia, por ser los cúmulos más antiguos; y la edad de las estrellas enanas blancas de poco brillo real, por resultar más viejas.

La gran contribución de Stephen Hawking es entonces que el Universo comenzó con una gran explosión, desde un estado caliente y denso de materia, desde una singularidad, y esto se ajusta a lo observado por Hubble en 1929. Para estimar un límite inferior en la edad del Universo, además de estimar la actual composición del Universo, o el valor de la constante de Hubble que relaciona el radio del Universo con su edad, se puede recurrir a técnicas de datación, relacionadas con, la vida media de los elementos químicos producto de elementos que se desintegran, en roca; con la edad de los cúmulos globulares que conforman el

halo de la galaxia, por ser los cúmulos más antiguos; y con la edad de las estrellas enanas blancas de poco brillo real, por resultar más viejas.

### **1.11- MÁS ALLA DE LAS PROFECÍAS MAYAS**



Figura 1.13: Chichén Itzá en la Península de Yucatán, en: <http://topbesttraveldestinations.com>

Hace medio milenio llegaron los españoles a Yucatán, importante región del sureste de México, para encontrar en esa península el legado Maya de la región norte, cuyos asentamientos más remotos se dieron el Siglo III d. C., en esa arquitectura monumental de las esplendorosas ciudades de Chichén Itzá, Mayapán y Uxmal, y en sus contenidos culturales ofreciendo técnicas diversas con base de ingeniería y ornamentación propias, además de notación jeroglífica con registros, mitológicos e históricos soportados en el complejo sistema calendárico y matemático de este pueblo de etnias, que dan cuenta de hechos y rituales plasmados en sus inscripciones jeroglíficas, grabados y conjuntos escultóricos y pictóricos, además de costumbres y creencias aún vivas.

Pero al lado de la portentosa herencia cultural de los herederos directos de los Olmecas, evidencia de esa civilización cuya cumbre de desarrollo se dio hacia la última etapa del desarrollo independiente de la civilización mesoamericana, ahora se hace posible descifrar los vestigios de un importante desastre ambiental que podría explicar el por qué lo que comenzó hacia el año del 1500 a.C. desapareció por el 900 d.C. Posiblemente la lección no se capitalizó, entre otras causas, dado el proceso de transculturación que remodeló

las culturas indígenas y sentó las bases de la variada cultura mestiza de México y Centroamérica. A modo de ilustración, quedan vestigios de importantes obras hidráulicas y de rituales populares para el dios de la lluvia, Chic, a quien se le daba especial importancia.

La península de Yucatán, es una gran extensión y unidad geomorfológica conformada por calizas del Terciario con características muy específicas y propias, donde las reducidas fuentes de agua se relacionan con pozos y corrientes en el ambiente subterráneo del paisaje de una meseta de clima que varía de cálido húmedo en el poniente a seco y semiseco en el naciente. El vital líquido disponible en grandes depresiones, sumideros, cuevas y grietas bajo las solubles rocas del relieve casi plano, sirvió a dichos asentamientos humanos hasta haber deforestado el territorio, en especial el de la parte norte de Yucatán, ya que las técnicas constructivas emplearon la madera para fabricar la cal utilizada como materia prima para el hormigón de sus colosales estructuras.

Al examinar la demanda ambiental por el agua y la madera, dada la envergadura de los poblados y tamaño de sus templos, puede advertirse el desastre que pudo ocasionar el ocaso de esta civilización americana. Veamos algunos datos: el terraplén para el zócalo de un solo edificio requería el transporte de entre un cuarto y medio millón de metros cúbicos, operación que exigía varios cientos de obreros que debían alimentarse; y emprendida la obra sobre esa acrópolis, el mortero de cal requerido se obtenía al machacar y cocer la piedra sobre una pila de madera seca, sólo que la cal viva obtenida en el proceso era poca en comparación con la cantidad de madera utilizada.

Que esta lección aprendida de una de las más originales y grandiosas civilizaciones antiguas y expresión de la cultura mesoamericana, objeto de estudio en el Contexto de Astronomía que ofrecemos en el OAM de la Universidad Nacional de Colombia, sirva de algo después de cinco siglos de haberse descubierto y de casi un milenio de aportes que algunos miran apreciando únicamente la parte mágica de su calendaría, asociándola a designios apocalípticos para los cuales nada cuenta la voluntad humana. Que sirva entonces para que reflexionemos y actuemos en función de lo que ahora hacemos con el Planeta, o si se quiere para interpretar ese legado como los cambios físicos que padece el hábitat como consecuencia de una falta de conciencia que facilita acciones desaforadas de la especie humana.

Ed. Circular RAC 209. 11/8/2008.

## 3.12- CIENCIAS AEROESPACIALES EN COLOMBIA



Figura 1.14: Comisión Colombiana del Espacio CCE. <https://www.cce.gov.co>

Veamos los retos temáticos y organizacionales para el PND

Se ha citado para los días 26 y 27 de Julio en Bogotá por la Comisión Colombiana del Espacio CCE, a través del Comité de Asuntos Espaciales de la Fuerza Aérea Colombiana, a varios miembros de la Red de Astronomía de Colombia y otros actores afines, para tratar lo concerniente al Plan Nacional de Desarrollo Tecnológico en los temas del caso.

Al respecto, la pregunta que debe resolverse a partir del conocimiento de las áreas en que tenemos fortalezas científicas y tecnológicas los colombianos, debe ser a qué problemáticas y cuáles desarrollos le debe apostar la Nación, por lo que sin entrar a la capacidad que tenemos por ser un asunto del cual me he ocupado en este espacio, intentaré ocuparme de algunos de los desafíos o retos que considero prioritarios, con el objeto de proponer líneas generales que sirvan al importante asunto.

Para empezar, una de las actividades científicas más fructíferas y estimulantes que tenemos los amantes de las ciencias naturales, es la exploración de nuestro propio entorno mirando los fenómenos en una perspectiva global. Desde la antigüedad, se han indagando los fenómenos naturales con la intención de comprender mejor el planeta Tierra, y con diferentes propósitos. De ahí las creencias y mitos, y más adelante la ciencia misma para explicarlos y facilitar aplicaciones que pudieran capitalizarse en el

territorio, orientadas a darles mejores condiciones de vida a sus habitantes.

Si ayer miráramos nuestros mares, volcanes y atmósfera, hasta donde el horizonte llegaba en un territorio parcialmente ocupado, y de ese entonces la Real Expedición Botánica del Nuevo Reino de Granada (1783-1816) y la Misión Corográfica de Agustín Codazzi (1850-1859), pueden ser las mayores proezas científicas que logramos desde los albores de la República, el asunto ahora es que las preguntas y retos se asocian con las dinámicas entre océano y atmósfera, o entre sismos, volcanes y montañas del territorio patrio como parte del continente, e incluso con las insospechadas interacciones entre Sol, Luna y Tierra que afectan el ecosistema global, además de las consecuencias de la actividad antrópica sobre la biosfera.

Por lo tanto, si las acciones que debemos emprender tienen ese carácter más complejo, para las cuales la interacción temática e interinstitucional y el mayor nivel de recursos humanos, tecnológicos y financieros demandados son fundamentales, urge una mayor imbricación entre las Ciencias, la Ingeniería y la Astronomía, y una integración efectiva de los actores de estos campos con los sectores empresarial e institucional, en torno a políticas, estratégicas y programas coordinados de desarrollo científico y tecnológico.

Por ejemplo, en la educación superior debemos pasar de la conformación de grupos académicos, a crear institutos y centros de investigación y desarrollo para implementar proyectos soportados en convenios de largo aliento anclados a los objetivos misionales de empresas e instituciones, dado que ya no son los tiempos del investigador aislado o de grupos académicos “autistas” que esperan eventuales contratos para productos puntuales, o trabajan en procura de publicaciones ociosas que antes que brillar por la simplicidad de una aplicación de enorme beneficio, abruman por la complejidad de lo que entregan sin generar impacto alguno, salvo unos puntos redimibles en dinero.

Frente a la pregunta qué hacer, digamos que primero debemos reconocernos como actores de una problemática o potencialidad socialmente demandada, e interactuar con otros actores para leer y conocer la fragilidad o potencialidad del medio objeto de cambio. No de otro modo podríamos contribuir a descifrar lo que ocurre en la interface entre cultura con litosfera, atmósfera e hidrosfera, para proponer acciones y decisiones sobre las relaciones entre sociedad y territorio. Lo anterior no excluye las otras actividades de los astrónomos y menos las de fomento a la cultura y capacidad científica y tecnológica,

incluyendo las que se ocupan del cosmos no intervenido por la especie humana.

Pero en el tema a discutir en el Plan Nacional de Desarrollo Tecnológico, deberán prevalecer decisiones sobre áreas estratégicas y problemáticas fundamentales para la Nación, donde la sociedad nos reclama y a lo que podemos aportarle con nuestra ciencia, como son los temas de la vida y la estabilidad de los ecosistemas, los asuntos de la salud y el hábitat humano, el estudio del clima y la hidrología, el conocimiento y evaluación de las amenazas naturales, las telecomunicaciones y sistemas de monitoreo, la cartografía y prospección geofísica, la ética y el derecho espacial, y las fronteras y territorios incluyendo áreas marítimas, fondos oceánicos y órbita geoestacionaria.

Desde el OAM, Ed. Circular RAC 616. June 26, 2011.

...

**Lecturas complementarias N°1:**

<p><u>Aprendizajes en procesos participativos de reconversión productiva.</u></p> <p><u>Albert Einstein en los cien años de la Teoría de la Relatividad.</u></p> <p><u>Área metropolitana de Manizales.</u></p> <p><u>Bosques, Cumbre del Clima y ENSO.</u></p> <p><u>Cien años el universo relativista de Einstein.</u></p> <p><u>Ciencias aeroespaciales: retos temáticos y organizacionales para el PND.</u></p> <p><u>Ciencias Naturales &amp; CTS.</u></p> <p><u>Cincuenta años de la llegada del hombre a la Luna.</u></p> <p><u>Clima: las heladas en Colombia.</u></p> <p><u>Colombia, por un desarrollo satelital.</u></p> <p><u>Colombia Tropical ¿y el agua qué?</u></p> <p><u>CTS, Economía y Territorio.</u></p> <p><u>Degradación del hábitat y gestión ambiental.</u></p>	<p><u>Día del Medio Ambiente: El Universo.</u></p> <p><u>Eje Cafetero: construcción social e histórica del territorio.</u></p> <p><u>El camino a las estrellas.</u></p> <p><u>El Cuidado de la Casa Común: Agua y Clima.</u></p> <p><u>El futuro de la ciudad: caso Manizales.</u></p> <p><u>El territorio caldense: ¿un constructo cultural?</u></p> <p><u>Elementos de Astrofísica y Las Estrellas.</u></p> <p><u>Historia de la Astronomía: Edad Media y Renacimiento.</u></p> <p><u>Isaac Newton: de Grecia al Renacimiento.</u></p> <p><u>Mecánica Planetaria.</u></p> <p><u>Misiones Galileo y Cassini a los Planetas Jovianos.</u></p> <p><u>Nuestras aguas subterráneas.</u></p>	<p><u>La cosmología de Stephen Hawking.</u></p> <p><u>Nuestro frágil patrimonio hídrico.</u></p> <p><u>Observación del Cielo y Carta Celeste.</u></p> <p><u>Otra prueba de la TGR: el agujero negro en M87.</u></p> <p><u>Patrimonio hídrico: carencias en la abundancia.</u></p> <p><u>Por falta de bosques con el agua al cuello.</u></p> <p><u>Periplo científico de Humboldt por América.</u></p> <p><u>Primer alunizaje en la cara oculta de la Luna.</u></p> <p><u>Protagonistas de la astronomía.</u></p> <p><u>¿Regresión ambiental en la Reserva de Río Blanco?</u></p> <p><u>Riesgos para el agua en la ecorregión cafetera de Colombia.</u></p> <p><u>Ríos urbanos para Manizales.</u></p> <p><u>Tiempo y Calendarios.</u></p>
--	--	---

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA (1867-2017)**



**GUÍA ASTRONÓMICA**

**Gonzalo Duque-Escobar**

**MANIZALES, 2020**

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3252>

Anexo 1: Colombia tropical: ¿y el agua qué?.	Anexo 12: La Luna
Anexo 2: Calentamiento global en Colombia	Anexo 13: Cultura y Astronomía (C&A)
Anexo 3: Aspectos geofísicos y amenazas naturales en los Andes de Colombia.	Anexo 14: Astronomía en La Edad Media y el Renacimiento.
Anexo 4: El camino a las estrellas.	Anexo 15: Sol, lunas y planetas.
Anexo 5: Isaac Newton	Anexo 16: Manual de geología para ingenieros
Anexo 6: Albert Einstein.	Anexo 17: Riesgo sísmico: los terremotos.
Anexo 7: Stephen Hawking	Anexo 18: CTS, Economía y Territorio.
Anexo 8: Geotecnia para el trópico andino.	Anexo 19: Cultura y Turismo en Caldas.
Anexo 9: Preservación Ambiental e Hídrica del Paisaje Cultural Cafetero.	Anexo.20: El Río Cauca y el desarrollo de la región.
Anexo 10: Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial.	Anexo 21: Videos: Temas de Astronomía y Medio Ambiente.
Anexo 11: Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia.	Anexo.22: UMBRA: la Ecorregión Cafetera en los Mundos de Samoga.
Enlaces U.N.: <a href="#">Textos “verdes”</a>	<b>El Autor: Gonzalo Duque-Escobar</b>

**HOME:**

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3252>

CONTENIDO: PRESENTACIÓN. GUÍA Nº 1. HISTORIA DE LA ASTRONOMÍA. GUÍA Nº 2. COORDENADAS ASTRONÓMICAS. GUÍA Nº 3. ELEMENTOS DE MECÁNICA PLANETARIA. GUÍA Nº 4. TIEMPO Y CALENDARIOS. GUÍA Nº 5. EL SISTEMA SOLAR. GUÍA Nº 6. SOL, LUNAS Y PLANETAS. GUÍA Nº 7. COSMOGRAFÍA. GUÍA Nº 8. ELEMENTOS DE ASTROFÍSICA. GUÍA Nº 9. LAS ESTRELLAS. GUÍA Nº 10. LAS GALAXIAS. GUÍA Nº 11. EL UNIVERSO. GUÍA Nº 12. TEORÍAS COSMOGÓNICAS. GUÍA Nº 13. ASTRONOMÍA EN COLOMBIA. BIBLIOGRAFÍA

**A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.**





## 2.1. LA ESFERA CELESTE

La esfera celeste es una esfera ideal de radio infinito, indeterminado o unitario si se quiere, en cuyo centro se encuentra el observador. Allí, dado que la Tierra se reduce a un punto, la esfera es concéntrica con el globo terrestre. Permite representar el movimiento aparente de los astros, las direcciones en que se hallan los objetos celestes; y los ángulos formados por arcos de círculos máximos o mayores obtenidos sobre esa esfera, por planos que pasando por su centro cortan su superficie. El de la Tierra es el Eje del mundo en torno al cual rota la esfera celeste.

Si prolongamos infinitamente el eje de rotación de la Tierra, con sus extremos interceptamos la esfera celeste en los polos P y P'. Si prolongamos infinitamente nuestro horizonte generaremos un círculo máximo denotado con los cuatro puntos cardinales NESW en los extremos de dos diámetros suyos.



El horizonte NESW divide la esfera celeste en dos hemisferios: el hemisferio visible, que contiene el cenit Z y el invisible que queda por debajo del observador. Los astros aparecen sobre el horizonte por el costado E y se ocultan por el costado W. Dependiendo de la latitud, algunos astros nunca se ocultan y otros nunca aparecen sobre el horizonte.

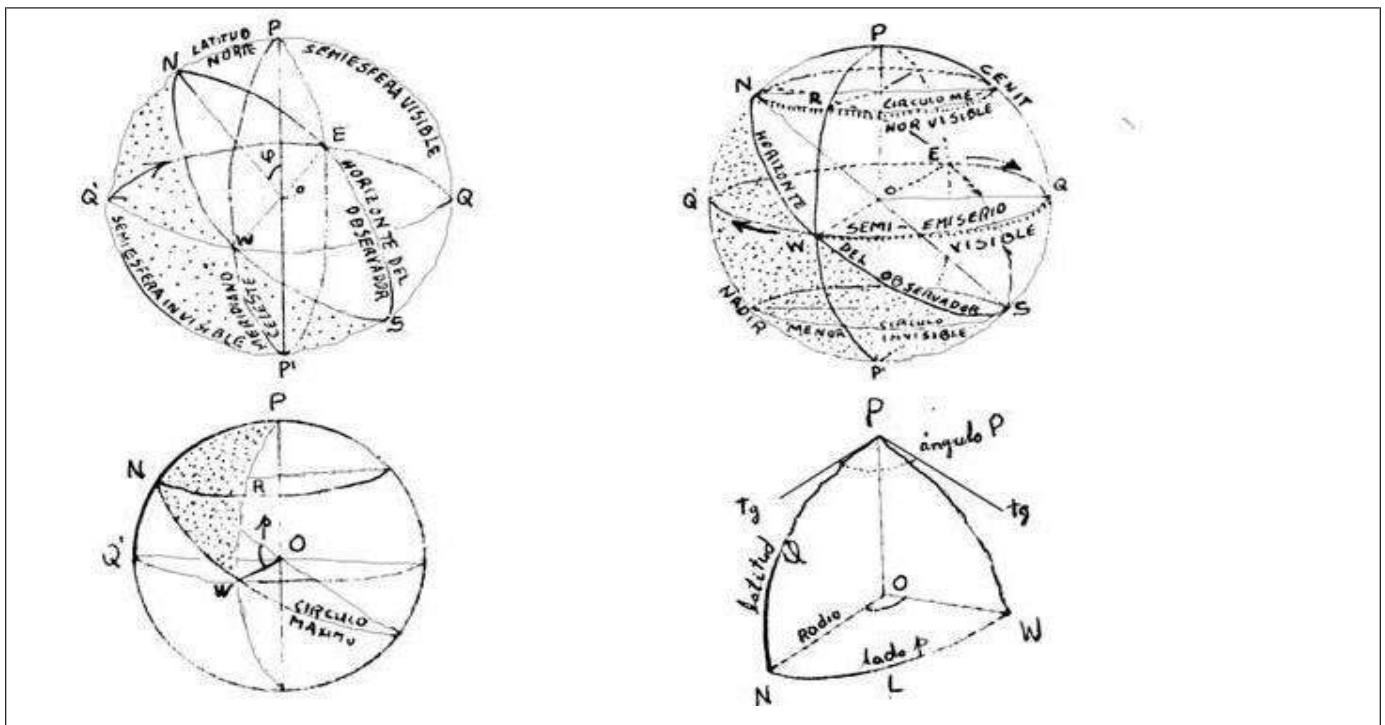


Figura 2.1. Triángulo esférico y horizonte del observador: En la parte superior, se identifican con puntos las semiesferas no visibles para un observador. En la parte inferior, lado izquierdo, se identifica el triángulo esférico PNW.

Considere el astro R. El observador está en el centro de la esfera celeste, que se considera de radio infinito. El astro tiene por trayectoria un círculo menor de declinación, perpendicular al eje polar PP'.

**Los triángulos esféricos** como NPW y PEQ deben estar limitados por tres arcos de círculos máximos. NPR no será triángulo esférico, a cuenta del arco NR que no pertenece a ningún círculo máximo.

Los astros giran de E a Q y de Q a W, siendo visibles sobre el horizonte. Sus trayectorias son círculos menores perpendiculares a PP'. (Z es el cenit).

**2.2. ELEMENTOS DE POSICION**

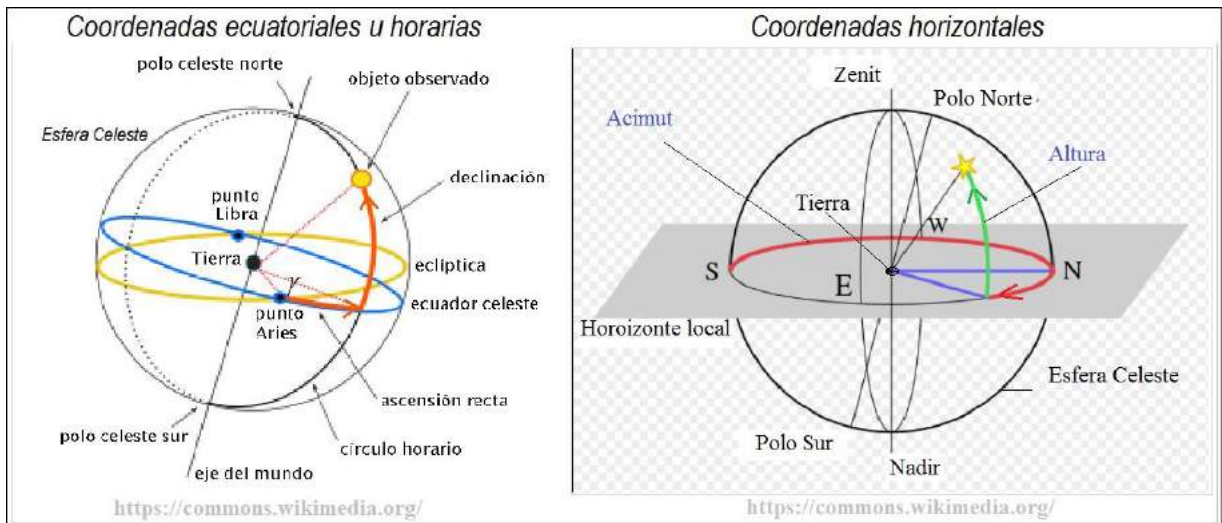


Figura 2.2: Coordenadas esféricas

Las coordenadas son un valor; por ejemplo, la distancia o el ángulo en una dirección dada (hacia arriba, hacia abajo, a la izquierda, a la derecha), que se utiliza con uno u otros más para describir la posición de un objeto.

**Círculo máximo** es cualquier círculo de la esfera celeste que tiene a la Tierra por centro como el ecuador celeste Q, la eclíptica y todas las líneas de ascensión recta. Los círculos menores son los que no tienen a la Tierra por centro. Las líneas de declinación (círculos perpendiculares al eje polar P) distintas del ecuador celeste Q son **círculos menores**.

El **cenit Z** es el punto de la esfera celeste que se encuentra directamente por encima de la cabeza de un observador.

El **nadir Z'** es el punto de la esfera celeste que se encuentra directamente por debajo de un observador. El nadir está situado a  $180^\circ$  del cenit, pues uno y otro son puntos antípodas.

Los **polos celestes P y P'** están situados sobre la esfera celeste, directamente encima de los polos de la Tierra. Están contenidos por el eje polar de la esfera celeste, que es la prolongación infinita del eje de los polos geográficos del planeta.

El **ecuador celeste** es el círculo máximo identificado con Q. Dicho círculo contiene el este E y el oeste W. También el ecuador celeste QQ' es la intersección que resulta sobre la esfera cuando el plano del Ecuador de la Tierra se prolonga al infinito.

**Eclíptica** es el recorrido que parece seguir el Sol alrededor de la esfera celeste cada año. Ya que la Tierra describe una órbita alrededor del Sol, éste parece moverse a lo largo de la eclíptica. Esta última es un círculo máximo ( $\sigma \sigma'$ ) inclinado  $23\frac{1}{2}$  grados con respecto al ecuador celeste Q Q'. Su nombre se debe a que sobre tal círculo se producen los **eclipses** de Sol.

**Horizonte** es un plano infinito NS perpendicular al radio de la Tierra, que se extiende adelante y atrás del observador, y a derecha e izquierda suya. Todos sus puntos ubicados sobre la esfera celeste están a  $90^\circ$  del cenit Z y el nadir Z'. El horizonte contiene los puntos cardinales NESW, así: de pie el observador y con la mano derecha por donde nace el Sol, tendrá enfrente el norte N y a su espalda el sur S, a la derecha el oriente E y por la izquierda el occidente W.

El **acimut Az**, es la dirección de un objeto, medida en grados alrededor del horizonte del observador, en el sentido de las agujas del reloj desde el sur. Es, entonces, el acimut un **ángulo horizontal** que varía de  $0^\circ$  a  $360^\circ$ . Aquí se ha definido un acimut sur directo, pero en topografía el acimut suele ser norte, y eventualmente se puede considerar acimut retrógrado.

La **ascensión recta  $\alpha$**  es una medida angular sobre el ecuador celeste; por asociación, es lo mismo que la longitud sobre la Tierra; por equivalencia, se mide en horas, minutos y segundos (de tiempo), hacia el Este, a lo largo del ecuador celeste y partiendo de cero en el equinoccio de primavera ( $t$ ). Su símbolo es alfa  $\alpha$ .

La **declinación  $\delta$**  se mide sobre un círculo de la esfera celeste, que contenga el eje de los polos; dicho círculo es el **meridiano celeste** del astro, igual que la latitud sobre la Tierra y se mide en grados norte (+) o sur (-) a partir del ecuador celeste; su símbolo es  $\delta$  delta.

## 2.3. COORDENADAS ASTRONOMICAS

**2.3.1. Coordenadas Ecuatoriales:** los círculos fundamentales son el ecuador celeste y el primer meridiano celeste. El ecuador celeste se denomina **QQ'** y el primer meridiano, que le es perpendicular, pasa por Q. Para la ascensión recta el origen es la intersección del ecuador celeste con la eclíptica (no dibujada), en el punto Aries o punto  $\Gamma$  que se denomina también punto vernal o equinoccio de primavera.

La distancia **S** entre Q y t (llamada tiempo sidéreo del punto vernal), es una de las relaciones fundamentales para el cálculo. Se mide en sentido retrógrado desde el meridiano de Greenwich, que contiene el punto Q.

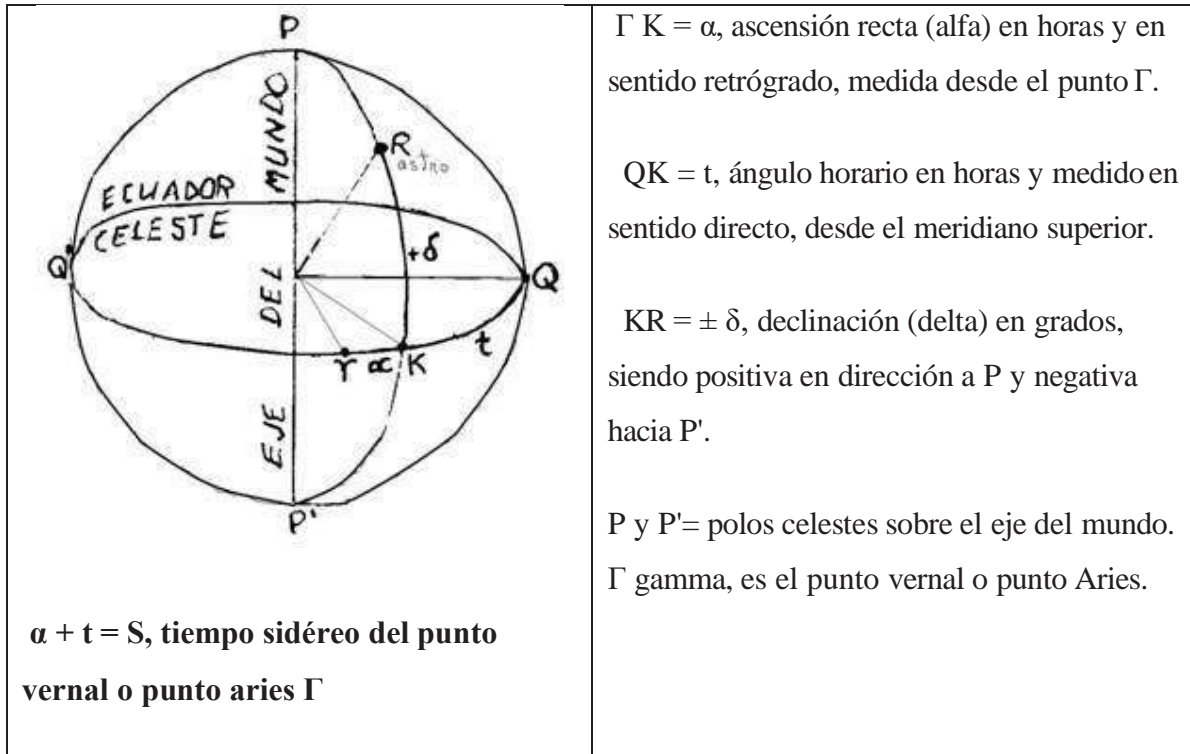


Figura 2.3. Coordenadas ecuatoriales: Astro R, determinado por la ascensión recta y la declinación. El tiempo sidéreo o tiempo sideral, es el tiempo medido por el movimiento diurno aparente del punto vernal,  $\Gamma$ , y cuyo valor se aproxima ligeramente al movimiento de las estrellas.

**232 Coordenadas Horizontales:** aquí los círculos fundamentales son el horizonte del observador y el primer vertical. Perpendicular al círculo del horizonte, se tiene la línea cenit-nadir. El horizonte es el círculo NS, que contiene los cuatro puntos cardinales. El primer vertical contiene el sur, porque los acimutes son sur-directos.

La distancia PN es la **latitud** del observador  $\phi$ , que se lee fi. Un círculo vertical es cualquier círculo máximo que contenga el cenit y el nadir. En la Figura 3, la vertical del astro R, es el arco PK'P'.

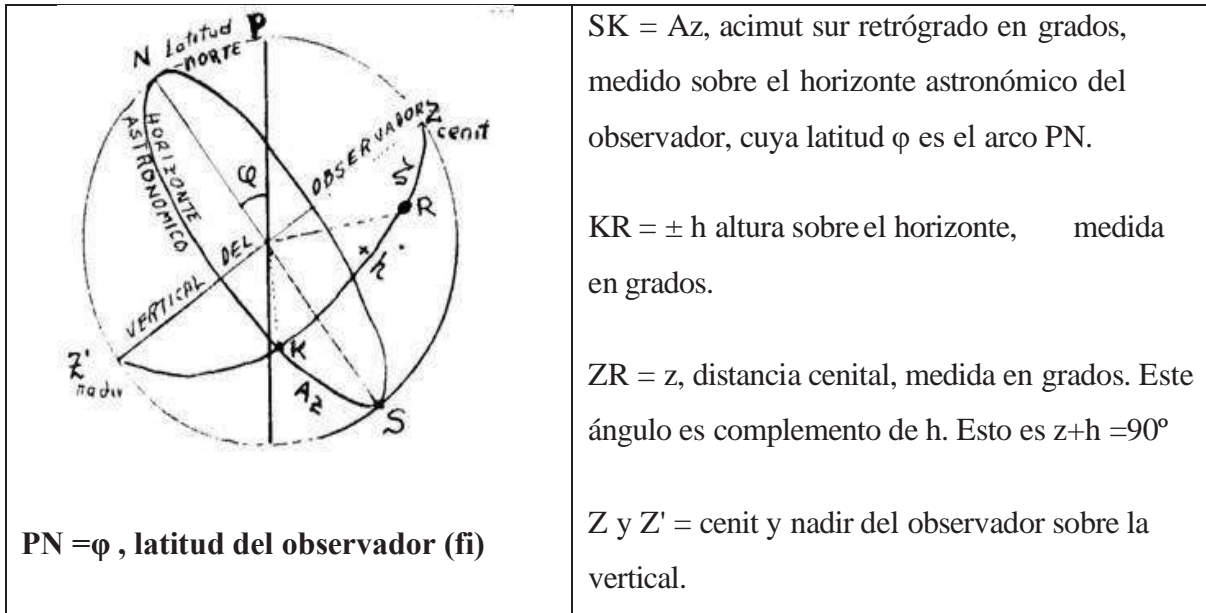


Figura 2.4. Coordenadas horizontales: Astro R, determinado por el acimut sur directo y la distancia cenital.

233 Coordenadas Eclípticas:

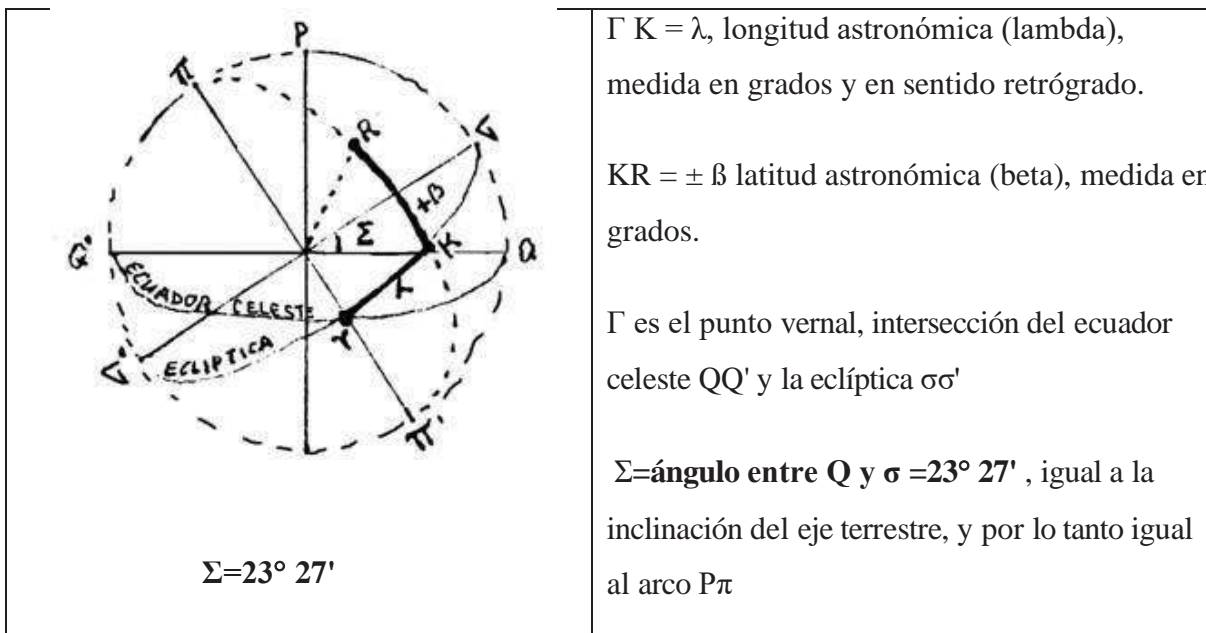


Figura 2.5. Coordenadas eclípticas. Astro R, determinado por la latitud y la longitud eclípticas.

Los círculos fundamentales son el plano de la eclíptica y el círculo máximo perpendicular a la eclíptica, que contiene el punto Aries o punto vernal  $\Gamma$ . El ángulo  $S$  que hacen el ecuador celeste  $QQ'$  y la eclíptica  $\sigma\sigma'$ , se debe a la inclinación del eje de la Tierra  $PP'$ , que no resulta perpendicular a la órbita. Esta es la causa de las estaciones.

Sobre la eclíptica hay cuatro puntos fundamentales: los equinoccios de primavera ( $\Gamma$ ) y otoño ( $O$ ) y los solsticios de invierno (dic. 21) y verano (jun. 21). Hay dos meridianos celestes llamados coluros: el de los solsticios que pasa por los polos eclípticos  $\pi$  y  $\pi'$ , y el de los equinoccios.

**2.3.4. Coordenadas galácticas:** la latitud galáctica  $b$  es la distancia angular de una estrella a partir de un círculo máximo definido como una línea media de la Vía Láctea o ecuador galáctico; los valores positivos indican posiciones al norte del ecuador galáctico, los negativos posiciones al sur del mismo. Lógicamente hay dos polos galácticos, uno norte y otro sur.

Se tomó como punto cero de la longitud galáctica un punto de la constelación de Sagitario, el que se supone con gran seguridad coincide con la dirección del centro de nuestra Galaxia.

## 2.4. TRIANGULO POLO CENIT ASTRO

Si queremos permutar los dos primeros sistemas de coordenadas, ecuatoriales y horizontales debemos resolver el triángulo Polo Cenit Astro. Siendo  $R$  el astro, tenemos:

Para transformar coordenadas, la expresión:

$$\mathbf{R}(\alpha, \delta) = \mathbf{R}(t, \delta) \longleftrightarrow \mathbf{R}(Az, h) = \mathbf{R}(Az, z)$$

Alude a los dos sistemas de coordenadas intercambiables, pues generalmente las coordenadas, que vienen en las efemérides y catálogos de estrellas, aparecen en el sistema ecuatorial, dado que son valores universales. Cada observador en particular, desde su propio lugar en el planeta, pretenderá conocer el acimut y altura sobre el horizonte de un astro cualquiera del catálogo, o en su defecto, querrá él identificar un astro que tiene en el cielo, buscándolo posteriormente en el catálogo de estrellas.

#### 2.4.1. Las tres relaciones básicas, para el cálculo

$\varphi = z + \delta \Rightarrow$  latitud del observador; que alude a la distancia angular PN, entre el polo celeste y el norte geográfico.

$S = t + \alpha \Rightarrow$  tiempo sidéreo del punto vernal, como se señaló en el sistema de coordenadas ecuatoriales.

$\Sigma = 23^\circ 27' \Rightarrow$  ángulo entre QQ' y  $\sigma\sigma'$ , debido a la inclinación del eje de la Tierra. Es también el ángulo entre PP' y  $\pi\pi'$ , que son los ejes del mundo y de los polos eclípticos respectivamente.

**NOTA:** La ascensión recta se mide en sentido retrógrado con respecto al P. El ángulo horario en sentido directo. El acimut astronómico se mide en sentido directo con relación al cenit.



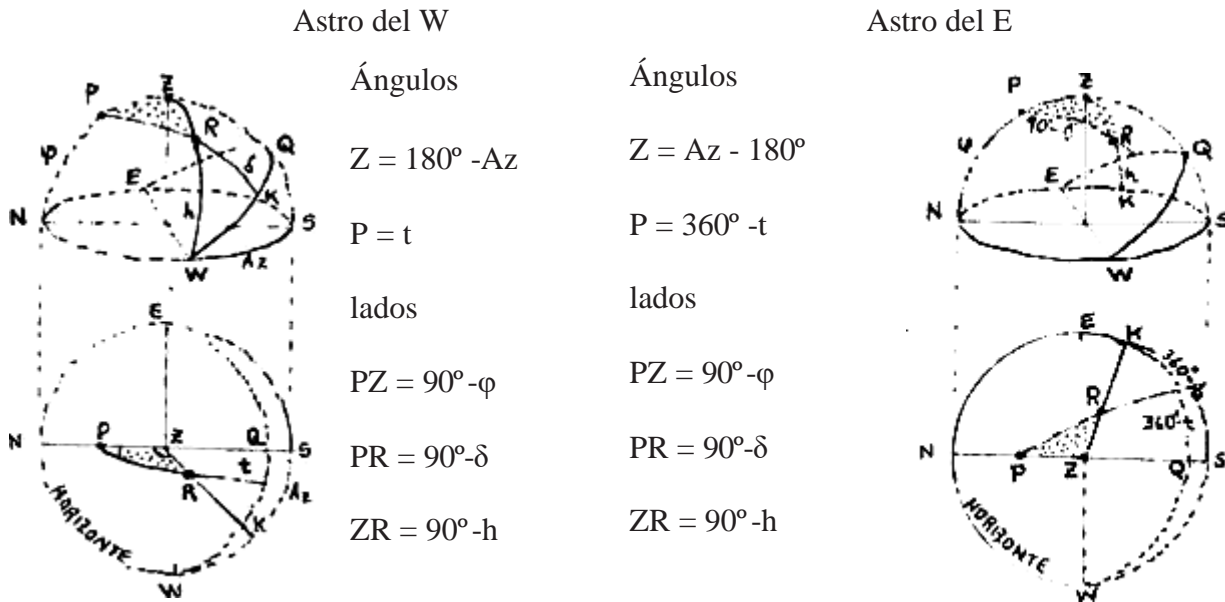


Figura 2.6. Triangulación de un astro R: Planta y perfil para un astro del occidente (izq.) y otro del oriente (der.). Se muestran los arcos de círculo máximo que trazados desde P y desde Z para decir con las coordenadas ecuatoriales y horizontales el triángulo PZR.

A continuación, mostraremos el triángulo Polo-Cenit-Astro, PZR, considerando tanto un astro del occidente (W), como uno del oriente (E). De esta manera las fórmulas trigonométricas no presentarán problemas de signo en algunas de las funciones.

Obsérvense los cambios en los valores de los dos ángulos que se deben considerar del triángulo PZR, a diferencia de lo que ocurre con los tres lados. Nunca se debe involucrar el ángulo en R.

**2.4.2. Las tres leyes para el cálculo de los triángulos esféricos**

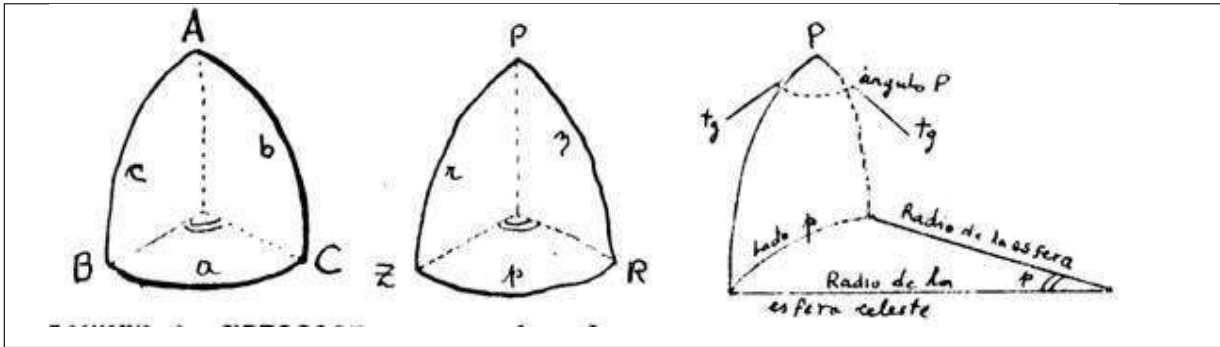


Figura 2.7. Descripción del triángulo esférico: Elementos y notación convencional para un triángulo esférico ABC, y su equivalencia en el triángulo Polo-Cenit-Astro: PZR.

De la trigonometría esférica se pueden obtener tres relaciones fundamentales. Recordamos que un triángulo esférico se conforma por tres arcos de círculos máximo, razón por la cual sus lados pueden medirse en unidades de arco.

Llamamos los lados con las minúsculas  $a$ ,  $b$ , y  $c$  y sus ángulos correspondientes con las mayúsculas  $A$ ,  $B$  y  $C$ , según la notación clásica.

Partiendo de las relaciones:

1.  $\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A$
2.  $\sin a \cos B = \cos b \sin c - \sin b \cos c \cos A$
3.  $\sin a \sin B = \sin b \sin A$

Aplicación en el triángulo Polo Cenit Astro (PZR): (sólo la fig. 2.6).

Para el efecto, como a modo de diccionario, sustituimos en las fórmulas anteriores los valores que se dan de los lados y ángulos, entendiendo que los valores homólogos, al comparar el triángulo ABC con el triángulo PZR, son en su orden:

Cuadro 2.1 Comparación triángulo ABC con el Triángulo PZR

Lados	Ángulos	Tiempo vs. Arco
$a = z$	$A = t$	1 hora $\leftrightarrow$ 15° sex
$b = 90^\circ - \delta$	$B = 180^\circ - Az$	1 min $\leftrightarrow$ 15' sex
$c = 90^\circ - \varphi$	$C = R$	1 seg $\leftrightarrow$ 15" sex

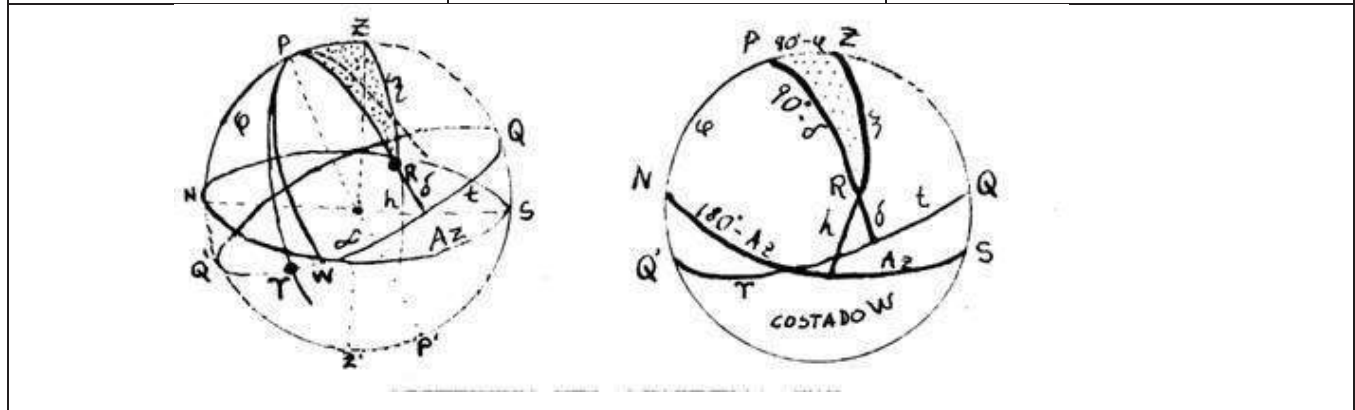


Figura 2.8. Los seis elementos del triángulo PZR: Valores para las funciones y cofunciones trigonométricas útiles para permutar coordenadas ecuatoriales y horizontales entre sí, al resolver la posición de un astro R.

Para la equivalencia, el Ángulo en P es A, el ángulo en Z es B y el ángulo en R es C.

Las seis relaciones de lados y ángulos nos permiten hacer una sustitución directa, para transformar las anteriores expresiones en las que se muestran a continuación, que ya incluyen algunas simplificaciones trigonométricas al hacer las cofunciones de los ángulos complementarios y suplementarios.

$$\cos z = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos t \quad (1)$$

$$\sin z \cos Az = -\sin \delta \cos \varphi + \cos \delta \sin \varphi \cos t \quad (2)$$

$$\sin z \sin Az = \cos \delta \sin t \quad (3)$$

El ángulo en R no interesa en la solución. Supongamos que deseamos las coordenadas horizontales de un astro cuyas coordenadas ecuatoriales se obtuvieron a partir de un catálogo o unas efemérides, o al resolver el caso contrario, para conocer un astro observado pero que aún no ha sido identificado.

Con  $\delta$  y  $t$  calculo  $z$  en (1) (para el efecto,  $\varphi$  depende del observador)

Con  $z$  calculo  $Az$  en (2) ( $z$  se ha obtenido y  $\delta$  y  $t$  son conocidos)

## 2.5. ALGUNOS OBJETOS NOTABLES DEL CIELO

Cuadro 2.2 Algunos objetos notables en el cielo

CNGC	Ascensión Recta	Declinación	Magnitud	Comentario
7841	05 31 30	+21 59	8.4	Nebulosa Planetaria M1 N. Cangrejo
7842	21 30 55	-01 03	6.5	Cúmulo globular M2
7843	13 39 57	+28 38	6.4	Cúmulo globular M3
7844	16 20 34	-26 24	5.9	Cúmulo globular M4
7845	15 16 02	+02 16	5.8	Cúmulo globular M5

CNGC	Ascensión Recta	Declinación	Magnitud	Comentario
7846	17 36 46	-32 11	4.2	Cúmulo abierto M6
7847	17 50 38	-34 48	3.3	Cúmulo abierto M7
7848	18 00 04	-24 23	5.2	Cúmulo abierto M8 N. la Laguna
7849	17 16 14	-18 28	7.9	Cúmulo globular M9
7850	16 54 29	-04 02	6.6	Cúmulo globular M10
7851	18 48 22	-06 20	5.8	Cúmulo abierto M11 nutrida
7852	16 44 36	-01 52	6.6	Cúmulo globular M12
7853	16 39 54	+36 33	5.9	Cúmulo globular M13 C. Hércules
7854	17 34 59	-03 15	7.6	Cúmulo globular M14
7855	21 27 36	+11 57	6.4	Cúmulo globular M15 fuente R. X
7856	18 15 59	-13 48	6.0	Cúmulo abierto M16 N. Águila
7857	18 17 52	-16 12	6.0	Cúmulo abierto M17 Omega/Cisne
7858	18 17 03	-17 09	6.9	Cúmulo abierto M18
7859	16 59 27	-26 11	7.2	Cúmulo globular M19 C. Ovalado
7860	17 59 17	-23 02	6.3	Cúmulo abierto M20 N. Trífida
7861	18 01 35	-22 30	5.9	Cúmulo abierto M21
7862	18 33 16	-23 58	5.1	Cúmulo globular M22
7863	17 54 02	-19 01	5.5	Cúmulo abierto M23
7864	18 17 00	-18 27	4.7	Cúmulo abierto M24
7865	18 30 30	-19 16	6.5	Cúmulo abierto M25 C. Disperso
7866	18 42 38	-09 27	8.0	Cúmulo abierto M26
7867	19 57 25	+22 35	7.6	Nebulosa planetaria M27 N. Dumbell

CNGC	Ascensión Recta	Declinación	Magnitud	Comentario
7868	18 21 28	-24 54	6.9	Cúmulo globular M28
7869	20 22 05	+38 22	6.6	Cúmulo abierto M29
7870	21 37 29	-23 25	7.5	Cúmulo globular M30
7871	00 40 02	+41 00	3.5	Galaxia M31 G. Andrómeda
7872	00 40 02	+40 36	8.2	Galaxia M32 con M31
7873	01 31 06	+30 24	5.7	Galaxia M33 G. Triángulo
7874	02 38 47	+42 34	5.2	Cúmulo abierto M34
7875	06 05 46	+24 21	5.1	Cúmulo abierto M35
7876	05 32 51	+34 06	6.0	Cúmulo abierto M36
7877	05 49 04	+32 32	5.6	Cúmulo abierto M37
7878	05 25 19	+35 48	6.4	Cúmulo abierto M38
7879	21 30 24	+48 13	7.5	Cúmulo abierto M39
7880	12 33 52	+26 16	10.3	Galaxia M40
7881	06 44 56	-20 42	5.9	Cúmulo abierto M41
7882	05 32 52	-05 25	3.9	Nebulosa difusa M42 N. Orión
7883	05 33 04	-05 18	5.8	Nebulosa difusa M43 Gran N. Orión
7884	08 37 10	+20 10	5.2	Cúmulo abierto M44 Praesepe
7885	03 44 06	+23 58	1.6	Cúmulo abierto M45 Pléyades
7886	07 39 33	-14 42	9.2	Cúmulo abierto M46
7887	07 34 15	-14 22	5.2	Cúmulo abierto M47
7888	08 11 10	-05 38	5.9	Cúmulo abierto M48
7889	12 27 14	+08 17	10.2	Galaxia M49

CNGC	Ascensión Recta	Declinación	Magnitud	Comentario
7890	07 00 30	-08 16	7.0	Cúmulo abierto M50
7891	13 27 51	+47 27	8.8	Galaxia M51 G. espiral
7892	23 21 59	+61 19	8.9	Cúmulo abierto M52
7893	13 10 29	+18 26	8.6	Cúmulo globular M53
7894	18 52 00	-30 32	8.7	Cúmulo globular M54
7895	19 36 55	-31 03	7.0	Cúmulo globular M55
7896	19 14 38	+30 05	9.5	Cúmulo globular M56
7897	18 51 40	+32 58	9.7	Nebulosa planetaria M57 N. Anular
7898	12 35 14	+12 06	11.5	Galaxia SBb M58 cerca a M59
7899	12 39 32	+11 55	11.0	Galaxia E3 M59 cerca a M58
7900	12 41 08	+11 50	10.3	Galaxia E1 M60
7901	12 19 25	+04 45	10.9	Galaxia SBc M61
7902	16 58 07	-30 03	8.1	Cúmulo globular Asimétrica. M62
7903	13 13 35	+42 18	9.7	Galaxia Sb M63 G. Girasol
7904	12 54 16	+21 57	8.9	Galaxia Sb M64 G. Ojo Negro
7905	11 16 18	+13 22	9.6	Galaxia Sa M65 cerca a M66
7906	11 17 36	+13 16	8.9	Galaxia Sb M66 cerca a M65
7907	08 48 20	+12 00	7.5	Cúmulo globular M67 muy vieja
7908	12 36 46	-26 29	9.1	Cúmulo globular M68
7909	8 28 04	-32 23	8.9	Cúmulo globular M69
7910	18 39 58	-32 21	8.9	Cúmulo globular M70
7911	19 51 29	+18 39	8.3	Cúmulo globular M71

CNGC	Ascensión Recta	Declinación	Magnitud	Comentario
7912	20 50 44	-12 44	10.2	Cúmulo globular M72
7913	20 56 14	-12 49	9.7	Cúmulo abierto M73
7914	01 33 57	+15 32	10.5	Galaxia Sc M74
7915	20 03 14	-22 04	9.5	Cúmulo globular M75
7916	01 38 50	+51 19	12.2	Nebulosa Planetaria M76 Pq. N.Dumbell
7917	02 40 07	-00 14	9.7	Galaxia Sb M77 G. Seyfert
7918	05 44 13	+00 02	11.3	Nebulosa difusa M78
7919	05 22 10	-24 34	8.3	Cúmulo globular M79
7920	16 14 07	-22 52	8.9	Cúmulo globular M80
7921	09 51 33	+69 18	7.8	Galaxia Sb M81 (ver M82)
7922	09 51 43	+69 55	9.2	Galaxia Ir M82 G. Explotando
7923	13 34 18	-29 36	8.5	Galaxia Sc M83
7924	12 22 32	+13 10	10.8	Galaxia SO M84 cerca a M86
7925	12 22 56	+18 28	10.2	Galaxia SO M85
7926	12 23 44	+13 13	10.9	Galaxia E3 M86 cerca a M84
7927	12 28 20	+12 40	10.4	Galaxia E1 M87
7928	12 29 32	+14 42	10.6	Galaxia Sb M88
7929	12 33 08	+12 50	11.1	Galaxia EO M89
7930	12 34 20	+13 26	10.3	Galaxia Sb M90
7931	12 32 56	+14 46	11.5	Galaxia SBb M91
7932	17 15 38	+43 12	7.3	Cúmulo globular M92
7933	07 42 26	-23 45	6.7	Cúmulo abierto M93 N. oscura



CNGC	Ascensión Recta	Declinación	Magnitud	Comentario
7934	12 48 31	+41 24	8.4	Galaxia Sb M94
7935	10 41 17	+11 58	11.2	Galaxia SBb M95 cerca a M96
7936	10 44 05	+12 05	10.0	Galaxia Sa/Sb M96 cerca a M95
7937	11 11 51	+55 18	12.0	Nebulosa planetaria M97 N. Búho
7938	12 11 20	+15 11	11.0	Galaxia Sb M98
7939	12 16 20	+14 42	10.2	Galaxia Sc M99
7940	12 20 26	+16 06	10.6	Galaxia Sc M100
7941	14 01 31	+54 36	8.7	Galaxia Sc M101 G. Rueda
7942	15 05 07	+55 57	11.1	Galaxia SO M102
7943 M103	01 29 56	+60 27	7.5	Cúmulo abierto
7944	12 37 18	-11 21	8.9	Galaxia Sbp M104 G. Sombrero
7945	10 45 11	+12 51	9.6	Galaxia E M105
7946	12 16 28	+47 35	9.3	Galaxia Sb M106
7947	16 29 42	-12 56	10.1	Cúmulo globular M107
7948	11 08 38	+55 57	10.7	Galaxia Sc M108 (ver M97)
7949	11 55 00	+53 39	10.7	Galaxia SBb M109
7950	00 37 38	+41 25	9.4	Galaxia E6 M110 (ver M31)
7951	00 05 44	+28 48	2.1	Estrella Alpheratz $\alpha$ And
7952	00 06 31	+58 52	2.3	Estrella Caph $\beta$ Cas
7953	00 23 49	-42 35	2.4	Estrella Ankaa $\alpha$ Phe
7954	00 37 41	+56 15	2.2	Estrella Schedar $\alpha$ Cas
7955	00 41 05	-18 16	2.0	Estrella Diphda $\beta$ Cet

CNGC	Ascensión Recta	Declinación	Magnitud	Comentario
7957	01 06 55	+35 21	2.0	Estrella Mirach $\beta$ And
7958	01 35 53	-57 29	0.5	Estrella Achernar $\alpha$ Eri
7959	02 00 50	+42 05	2.1	Estrella Almach $\tau$ And A
7960	02 04 24	+23 13	2.0	Estrella Hamal $\alpha$ Eri
7961	01 54 00	+89 01	2.0	Estrella múltiple Polaris $\alpha$ UMi
7962	02 16 46	-03 12	2.0	Estrella Mira omicron Cet
7963	02 59 37	+03 53	2.5	Estrella Menkar $\alpha$ Cet
7964	03 04 38	+40 45	2.1	Estrella Algol $\beta$ Per
7965	03 20 44	+49 41	1.8	Estrella Mirfax $\alpha$ Per
7966	04 33 04	+16 24	0.9	Estrella Aldebaran $\alpha$ Tau
7968	05 12 58	+45 57	0.5	Estrella Capella $\alpha$ Aur
7969	05 22 23	+06 18	1.6	Estrella Bellatrix $\tau$ Ori
7970	05 23 05	+28 34	1.6	Estrella Elnath $\beta$ Tau
7973	05 33 40	-01 14	1.7	Estrella Alnilam $\epsilon$ Ori
7974	05 38 10	-01 58	1.8	Estrella Alnitak zeta Ori
7976	05 52 22	+07 24	0.4	Estrella Betelgeuse $\alpha$ Ori
7977	05 55 47	+44 57	1.9	Estrella Menkalinan $\beta$ Aur
7979	06 22 50	-52 40	-0.7	Estrella Canopus $\alpha$ Car
7980	06 34 51	+16 27	1.9	Estrella Alhena $\tau$ Gem
7981	06 42 51	-16 40	-1.5	Estrella Sirius $\alpha$ CMa A
7982	06 56 37	-28 54	1.5	Estrella Adhara $\epsilon$ CMa
7986	07 36 36	+05 21	0.4	Estrella Procyon $\alpha$ CMi A

CNGC	Ascensión Recta	Declinación	Magnitud	Comentario
7987	07 42 14	+28 09	1.2	Estrella Pollux $\beta$ Gem
7990	08 21 29	-59 20	1.9	Estrella Avior $\epsilon$ Car
7992	09 06 11	-43 14	2.2	Estrella Suhail $\lambda$ Vel
7993	09 12 39	-69 30	1.7	Estrella Miaplacidus $\beta$ Car
7996	09 25 07	-08 27	2.0	Estrella Alphard $\alpha$ Hay
7997	10 05 41	+12 13	1.4	Estrella Regulus $\alpha$ Leo A
7999	10 58 47	+56 40	2.4	Estrella Merak $\beta$ UMa
8000	11 00 38	+62 02	1.8	Estrella Dubhe $\alpha$ UMa
8002	11 46 26	+14 51	2.1	Estrella Denebola $\beta$ Leo
8003	11 51 07	+53 59	2.4	Estrella Phecda $\tau$ UMa
8005	12 13 22	-17 44	2.6	Estrella Gienah $\tau$ Crv
8006	12 23 42	-62 49	1.4	Estrella Acrux $\alpha$ Cru
8007	12 28 25	-56 50	1.7	Estrella Gacrux $\tau$ Cru
8009	12 44 55	-59 25	1.3	Estrella Beta Crucis $\beta$ Cru
8010	12 51 53	+56 14	1.8	Estrella Alioth $\epsilon$ UMa
8011	13 21 54	+55 11	2.3	Estrella Mizar zeta UMa A
8012	13 22 30	-10 54	0.9	Estrella Spica $\alpha$ Vir
8014	13 45 36	+49 34	1.9	Estrella Alkaid Eta UMa
8016	14 00 15	-60 07	0.6	Estrella Hadar $\beta$ Cen
8017	14 03 42	-36 08	2.0	Estrella Menkent Theta Cen
8018	14 13 23	+19 25	-0.1	Estrella Arcturus $\alpha$ Boo
8020	14 36 05	-60 38	0.0	Estrella Rigil Kent. $\alpha$ Cen

CNGC	Ascensión Recta	Declinación	Magnitud	Comentario
8023	14 42 47	+74 21	2.1	Estrella Kachob $\beta$ UMi
8024	15 32 31	+26 53	2.2	Estrella Alphecca $\alpha$ CrB
8025	15 57 25	-22 29	2.3	Estrella Dschubba Delta Sco
8026	16 26 21	-26 19	0.9	Estrella Antares $\alpha$ Sco
8028	16 43 17	-68 57	1.9	Estrella Atria $\alpha$ TrA
8030	17 07 34	-15 40	2.4	Estrella Sabik Eta Oph
8031	17 30 15	-37 04	1.6	Estrella Shaula Lambda Sco
8032	17 32 36	+12 36	2.1	Estrella Rasalhague $\alpha$ Oph
8035	17 55 24	+51 29	2.2	Estrella Eltanin $\tau$ Dra
8036	18 20 54	-34 25	1.8	Estrella Kaus Aust. $\epsilon$ Sgr
8037	18 35 11	+38 44	0.0	Estrella Vega $\alpha$ Lira
8038	18 52 08	-26 21	2.1	Estrella Nunki $\sigma$ Sgr
8040	19 48 21	+08 44	0.8	Estrella Altair $\alpha$ Agl
8042	20 39 40	+45 05	1.3	Estrella Deneb $\alpha$ Cyg
8044	21 17 29	+62 23	2.4	Estrella Alderamin $\alpha$ Cep
8045	21 41 43	+09 40	2.4	Estrella Enif $\epsilon$ Peg
8046	22 05 00	-47 13	1.8	Estrella Al Ni'ir $\alpha$ Gru
8048	22 54 51	-29 54	1.2	Estrella Fomalhaut $\alpha$ PsA
8049	23 01 20	+27 48	2.5	Estrella Scheat $\beta$ Peg
8050	23 02 18	+14 55	2.5	Estrella Markab $\alpha$ Peg

Se han tomado los anteriores datos del Manual de Instrucciones del Celestron Compustar, de 14 pulgadas. U. S. A. 1988.

## 2.6 PROBLEMA "ALEPH"

### PLANTEAMIENTO Y SOLUCIÓN A UN PROBLEMA TOPOGRAFICO: DEDICATORIA

Al Maestro, el Ingeniero CARLOS ENRIQUE RUIZ: Fundador y Director de la Revista "ALEPH" \*\*

<http://www.revistaaleph.com.co/>

#### 2.6 1. INTRODUCCIÓN

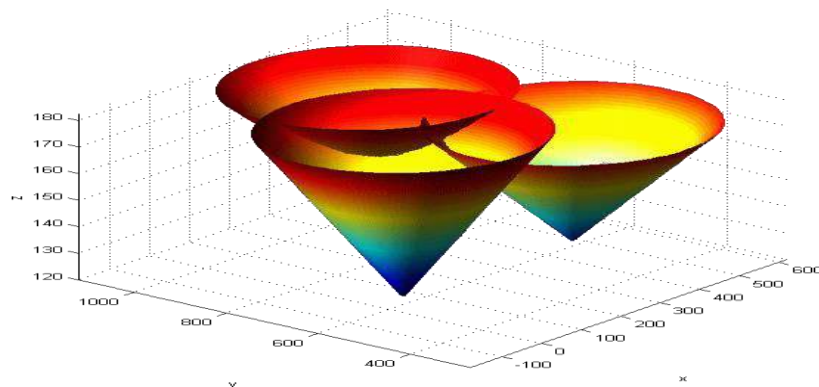


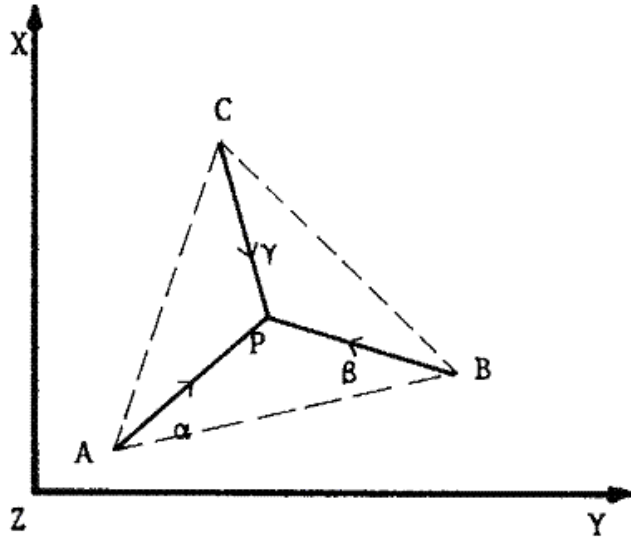
Figura 2.9 El Problema 'ALEPH': esta creación antes que a otra causa, se debe más a lo que he aprendido de mis alumnos.

También es el esfuerzo de siete años de trabajo, desde la búsqueda hasta la solución de un método topográfico, en las cátedras de Topografía en Ingeniería Civil, útil para la localización de puntos en un espacio tridimensional.

#### 2.6 2. ENUNCIADO

Desde tres placas A, B y C definidas por sus tres coordenadas topográficas, se observa un punto  $P$  a

determinar con los ángulos de inclinación  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  (Figura 1).



A(A1, A2, A3)

B(B1, B2, B3)

C(C1, CZ, C3)

P(P1, P2, P3)

Figura 2.9 (1) Intersección de visuales: planta con ángulos de elevación hacia un punto P por definir, medidos desde tres puntos A, B y C, no intervisibles y de coordenadas X, Y y Z conocidas.

### 2.6 3. DISCUSIÓN

Cada visual, no horizontal, describirá un cono circular recto con vértice en su respectiva placa. El punto P será la intersección común de los tres conos, cuya expresión es de la forma:

$$\tan \varepsilon = \frac{z - z_0}{\sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}} \dots\dots\dots(0)$$

Si consideramos las visuales al punto P como generatrices de los conos, a la altura del punto pedido, las directrices serán tres circunferencias interceptadas en P.

2.6 4. LA ROSA 'ALEPH'

Supongamos el desplazamiento de las visuales en A y B (Figura 2)

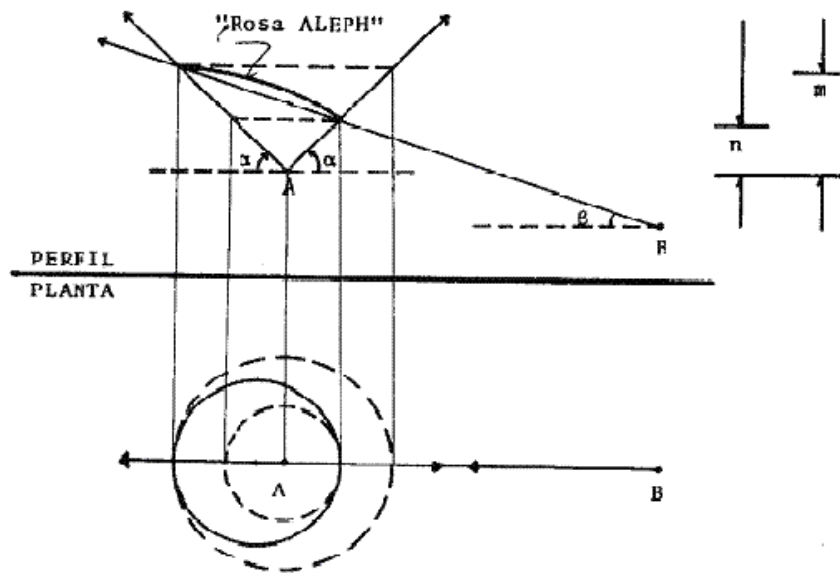


Figura 2.9 (2). La Rosa ALEPH: es la intersección entre dos conos.

Si el ángulo  $\alpha$  es mayor que  $\beta$ , la intersección de los dos conos estará entre los círculos directrices del cono A y con alturas relativas  $\underline{n}$  y  $\underline{m}$ . Esta intersección será “la rosa ALEPH” de pétalos plegados en la dirección AB.

Si  $\alpha$  y  $\beta$  son ángulos iguales, la altura  $\underline{m}$  será infinita. La sombra de la rosa es la intersección de las visuales para  $-\alpha$  y  $-\beta$ .

2.6 5. SOLUCIÓN GRÁFICA:

Dibujamos en el plano XY las curvas de nivel a intervalo constante, comprendidas entre las alturas relativas  $\underline{n}$  y  $\underline{m}$  y que pertenezcan a cada uno de los conos, es decir, representamos con directrices a partir de  $\underline{n}$  y sobre el plano  $\underline{Z}$ , los tres conos según los ángulos  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ .

Uniendo puntos de intersección de los círculos de A con B que tengan igual altura, obtenemos la “rosa ALEPH” (Figura 3). Esta es la intersección de los conos, obtenida a partir de sus curvas de nivel.

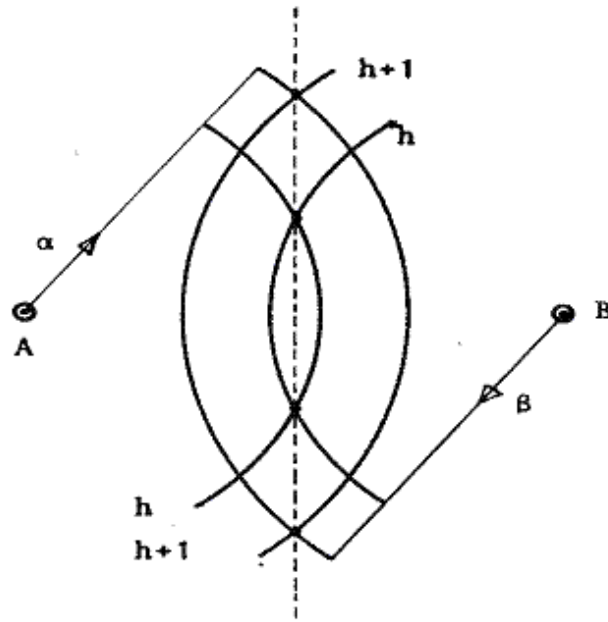


Figura 2.9 (3): Intersección de dos conos: los de las visuales A y B.

También se obtiene de las intersecciones de igual cota entre los círculos de A y C, la "rosa ALEPH" correspondiente a este par de conos.

La tercera “rosa ALEPH” generada por los conos B y C, interceptará las rosas anteriores, entregando como solución el punto  $\underline{P}$  en la común intersección de todas. (Figura 4).



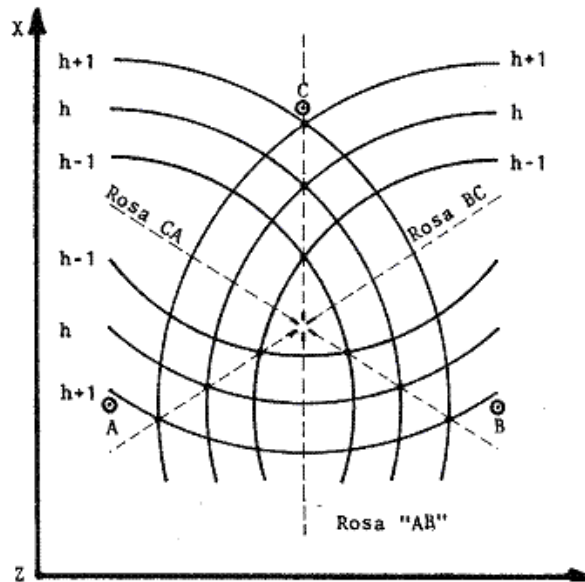


Figura 2.9 (4): Solución gráfica de “ALEPH”: P es la intersección de las tres rosas.

### 2.6 6. AJUSTE ANALITICO

Para calcular las coordenadas del punto P, con despreciable error topográfico, utilizamos un algoritmo (Supongamos que P es interior al triángulo ABC). Si asumimos como valor de tanteo inicial, una altura Z en el punto P, tal que su valor supere el de n, podrá calcularse las proyecciones de las distancias AZ , BZ y CZ, sobre el plano XY que es el horizonte. Para tal efecto se utilizan las ecuaciones siguientes de la función tangente, donde Z' es la proyección de Z sobre XY:

$$AZ' = (Z - A3) \tan \alpha \dots\dots\dots(1)$$

$$BZ' = (Z - 83) \tan \beta \dots\dots\dots(2)$$

$$CZ' = (Z - C3) \tan \gamma \dots\dots\dots(3)$$

Puede ocurrir con este primer valor de Z, próximo a P, que  $Z < P3$ , o bien, que  $Z > P3$  (Figura 5). P3 es la tercera coordenada de P.

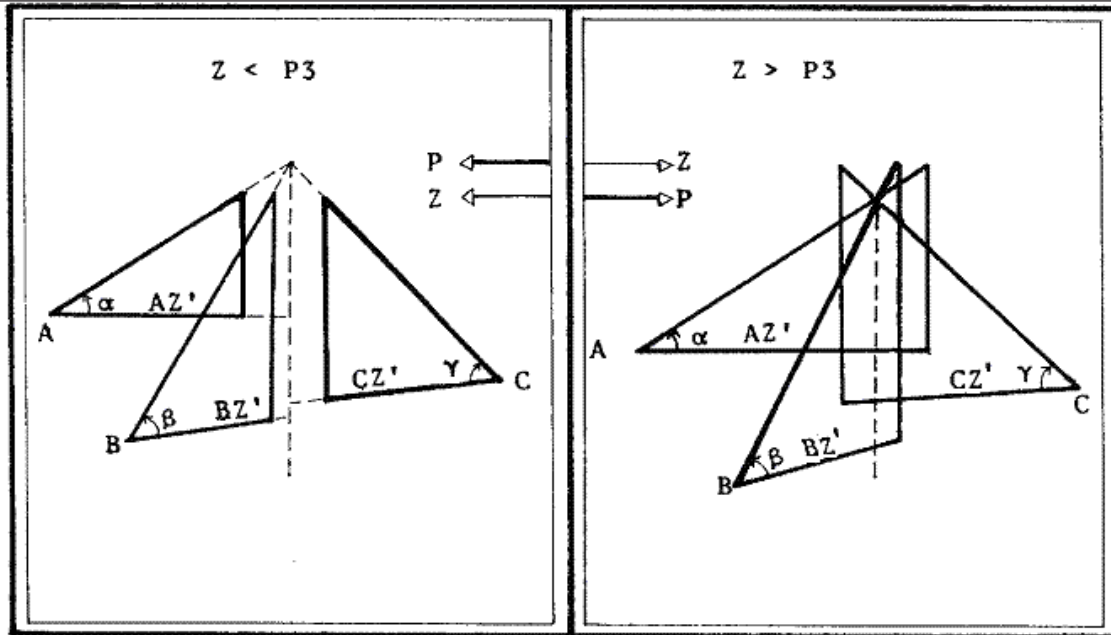


Figura 2.9 (5). Aproximación al intercepto de las "Rosas ALEPH":  $Z < P$  y  $Z > P$ .

NOTA: "Con las tres proyecciones de las visuales, tenemos tres radios de circunferencias directrices o curvas de nivel a la altura Z. La Figura 4 ejemplariza tres cálculos sucesivos con  $Z > P3$ "

Ya podemos calcular los ángulos  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  y  $\delta_3$  en la vecindad de Z' con las ecuaciones siguientes, según la ley del coseno:

$$\delta_1 = \text{Ar.cos} \left\{ (|AZ'|^2 + |BZ'|^2 - |CZ'|^2) / (2 |AZ'| |BZ'|) \right\} \dots\dots\dots(4)$$

$$\delta_2 = \text{Ar.cos} \left\{ (|BZ'|^2 + |CZ'|^2 - |AZ'|^2) / (2 |BZ'| |CZ'|) \right\} \dots\dots\dots(5)$$

$$\delta_3 = \text{Ar.cos} \left\{ (|CZ'|^2 + |AZ'|^2 - |BZ'|^2) / (2 |CZ'| |AZ'|) \right\} \dots\dots\dots(6)$$

Los valores así calculados quedan evaluados en el plano horizonte XY. En estas ecuaciones todos los términos "prima" son proyecciones de las respectivas líneas en el plano Z mencionado.

AB', BC' y CA' son calculables con las coordenadas planas A1, A2; B1, B2; C1, C2 respectivamente

La suma de los ángulos  $\delta_1$ ,  $\delta_2$  y  $\delta_3$  sólo podrá ser  $2\pi$  cuando Z asumido iguale el valor de  $\underline{P}$ ; en caso contrario, esta suma excederá en algo el valor  $2\pi$  si  $Z < P$ , o simplemente será excedida si  $Z > P$ , dado que  $\underline{P}$  es punto interior al triángulo de estaciones A, B y C, en este caso. (Figura 6).

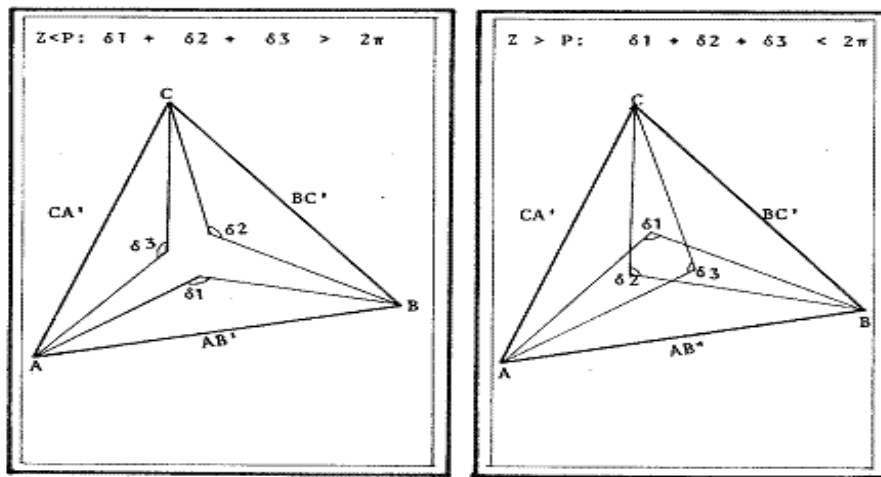


Figura 2.9 (6): Convergencia de ALEPH: sólo  $\underline{P}$  puede lograr que " $\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 = 2\pi$ ".

Un análisis similar puede hacerse para obtener las coordenadas de  $\underline{P}$  fuera del triángulo; en tal caso (figura 6)

$$\delta_1 = \delta_2 + \delta_3 \text{ Si } \underline{P} \text{ está a la derecha de } AB \text{ ..... (7)}$$

$$\delta_2 = \delta_3 + \delta_1 \text{ Si } \underline{P} \text{ está a la derecha de } BC \text{ ..... (8)}$$

$$= \delta_1 + \delta_2 \text{ Si } \underline{P} \text{ está a la derecha de } CA \text{ ..... (9)}$$

Se recomienda, para evitar el problema de seleccionar la solución correcta, que en el terreno se determine un punto P siempre interior al triángulo ABC, y con base en una figura bien conformada (el punto P sobresaliendo y los ángulos del triángulo ABC en el terreno, con valores entre 30° y 120° cada uno).

Con lo anterior la solución interior al triángulo es única, pues teóricamente pueden aparecer de 0 a 4 soluciones para la práctica da comúnmente dos soluciones diferenciadas.

Para administrar tanteos de Z en la búsqueda de P, puede graficarse, contra Z, el error en la ecuación:

$$\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 = 2\pi \dots\dots\dots(10)$$

El valor de P1 y P2, a partir de P3, se ejecuta obteniendo el ángulo  $\alpha_1$ , (Figura 7), con

$$\alpha_1 = \text{Ar. sen } \left| \frac{(P_3 - C_3) \tan \gamma \text{ sen } \delta_3}{((A_1 - C_1)^2 + (A_2 - C_2)^2)^{1/2}} \dots\dots(11) \right.$$

Con este valor, es inmediato el cálculo de P1 y P2 partiendo de la dirección de AP y su distancia en el plano XY. Esto es, con la expresión  $\alpha_1$  del numeral 11, se obtienen las coordenadas X e Y del punto P, objeto del problema.

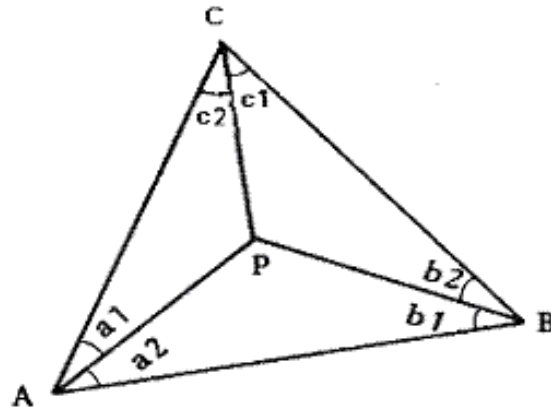


Figura 2.9 (7). La pirámide, clave para las Rosas Aleph: P (P1, P2, P3). Se recomienda P interior al triángulo AB

Si se desea constatar la interioridad de P, podemos calcular los seis ángulos horizontales sobre placas y deberá cumplirse:

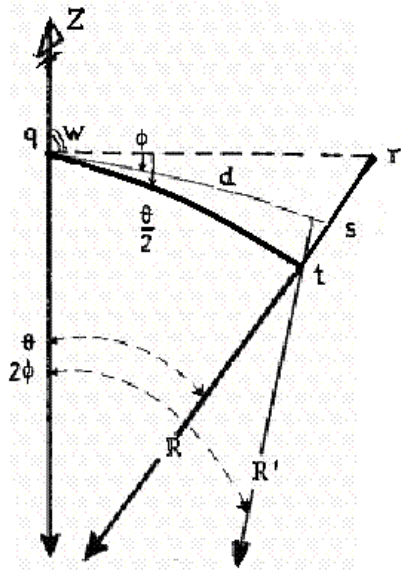
$$\text{Sen } (a1) \text{ Sen } (b1) \text{ Sen } (c1) = \text{Sen } (a2) \text{ Sen } (b2) \text{ Sen } (c2) \dots\dots\dots (12)$$

Identidad que resulta de igualar el valor de la proyección horizontal de AP obtenido desde la proyección horizontal de CB, por dos rutas de cálculo diferentes en función de los ángulos horizontales c2 y b1, respectivamente. Figura 7.

**2.6 7. CURVATURA TERRESTRE Y REFRACCIÓN ATMOSFÉRICA:**

En la solución gráfica podrá omitirse esta corrección teóricamente administrable. Sólo que si se desea mejorar en la precisión de las coordenadas de P, habrá que ajustar el resultado gráfico.

q = Observador. s = Punto observado



qr = horizonte del observador, tangente en q a los arcos qs y qt.

w = ángulo cenital de la visual qs,

w =  $\pi/2$  (visual a nivel)

d = visual refractada de longitud qs

R = Radio de la tierra en la zona,  $R \gg d$

R' = Radio de curvatura de la visual qs,  $R' > R$

qt = superficie de nivel paralela al mar

rt = error de curvatura terrestre

rs = error de refracción atmosférica

Figura 2.9 (8): Curvatura terrestre y Refracción atmosférica: trayectoria para una visual a nivel y datum esférico.

En la Figura 8, la visual horizontal tendrá aparentemente el itinerario qr, pero se curvará logrando caer al punto s, con un ángulo de refracción  $\phi$  y un radio de curvatura  $R'$ . En la distancia d, el error de curvatura terrestre respecto al *datum* de q, será rt. Los puntos q y t están sobre un mismo *datum*. En este caso, el arco de círculo qt paralelo al nivel del mar, y cuya curvatura es R y de valor  $\theta$ .

Si  $\theta$  es el valor del arco qt, podemos calcular, en términos de  $\phi$  y de  $\theta$ , la corrección altimétrica doble para el punto s observado con un ángulo vertical cenital w, valor que se denominará  $\underline{y}$ .

Llamando K al coeficiente de refracción, dado por:

$$2K = R/R' \dots\dots\dots(13)$$

Podemos decir, por ser  $\theta$  y  $\phi$  pequeños, que:

$$K = \varphi / \theta \dots\dots\dots(14)$$

Y de la gráfica, la corrección  $s_t$  requerida para  $s$ , que es la diferencia  $(r_t - r_s)$ , puede ser expresada por el ángulo  $v$ , así

$$v = (\theta / 2) - \varphi \dots\dots\dots(15)$$

Ángulo cuyo valor según las ecuaciones (13) y (14) se transforma en:

$$v = \theta (0,5 - k) \dots\dots\dots(16)$$

Expresando  $\theta$  en términos de las distancias planas aproximadas (solución gráfica) y el ángulo  $\underline{v}$  en segundos de arco, se llega finalmente a esta expresión:

$$v'' = (0,5 - k)d / R \text{ Sen } 1'' \dots\dots\dots(17)$$

En ángulos estrechos el seno y la tangente se confunden con el arco, por lo que el inverso de  $\text{sen } 1''$  equivale a 206.265 que es el número de segundos en un radian.

Ahora, el desnivel  $H$  corregido por curvatura terrestre y refracción atmosférica, en la nivelación trigonométrica, cuando no se aplican visuales recíprocas y simultáneas, sino la observación en un solo sentido, estará dado por la siguiente expresión:

$$H = d(\tan \varepsilon) + (0,5 - k) \frac{d^2}{R} + (h_1 - h_2) \dots\dots\dots(18)$$

Donde  $d$  es la distancia planimétrica,  $\varepsilon$  el ángulo vertical medido a partir del horizonte y  $R$  el radio de la Tierra. Esta incluye las alturas instrumentales  $h_1$  del tránsito y  $h_2$  de la señal observada.

En la ecuación (18), el término  $(0,5-k) d^2/R$  corresponde a la corrección y alcanza valores que superan el medio centímetro, a partir de los 300m. A un kilómetro, la corrección resulta de orden de los 6,8 cm.

## 2.6 8. METODOS NUMÉRICOS:

Para la solución numérica, entrar al enlaces [aleph01](#); para la solución gráfica, al enlace [aleph02](#).

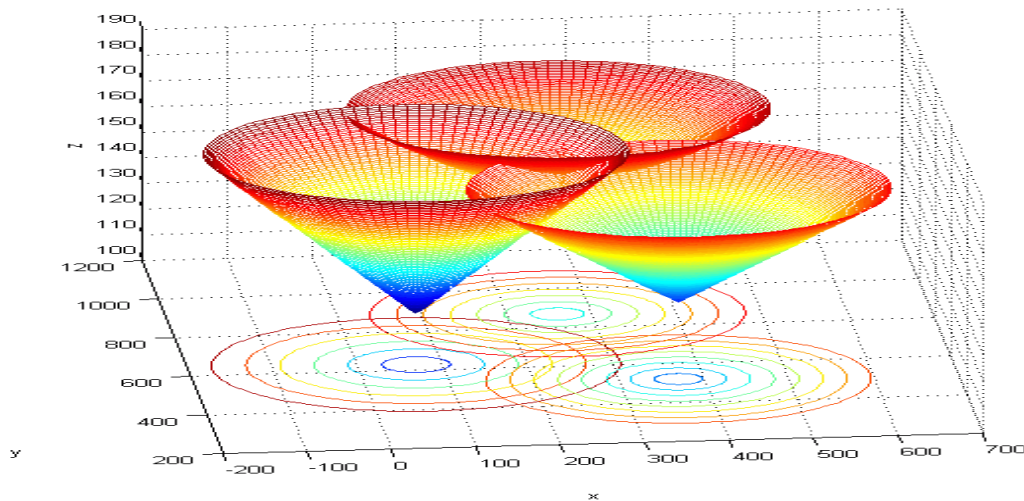


Figura 2.9 (9): Perspectiva de una triple intersección cónica: Aleph con su proyección sobre el plano horizontal.

La solución numérica que se presenta, fue elaborada por [Miguel Duque Bernal](#), en marzo de 2006, con el software Matlab, empleando el método iterativo de Newton-Raphson para resolver el sistema no lineal de las tres ecuaciones (1), (2), y (3) del numeral 6, por Miguel Duque Bernal 2006- donde las incógnitas son las tres coordenadas de  $\underline{P}$ , considera que los conos tienen vértice en el eje de inclinación del telescopio sobre cada una de las placas A, B y C, y que sus generatrices son las visuales no refractadas que se encuentran en P. Además supone que no existe curvatura terrestre

Estas ecuaciones son de la forma:



$$\tan \varepsilon = \frac{z - z_0}{\sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}} \dots\dots\dots(19)$$

Dadas las coordenadas de A, B y C deben afectarse en su coordenada Z, con la altura instrumental. Igualmente, la altura obtenida de P será la de la señal observada.

El problema también obtiene una primera solución para un punto P interior al triángulo ABC, y a partir de ella hace un ajuste por curvatura terrestre y refracción atmosférica, utilizando como radio de curvatura de la tierra  $6.35 \times 10^6$  m, valor que corresponde a la latitud de Manizales, y a un azimut de  $45^\circ$ .

**2.6 9. ERRORES EN LA MEDIDA DE LOS ÁNGULOS:**

En trabajos de precisión, además de los errores propios de la red de apoyo, asociados a la precisión en las coordenadas de los puntos AB y C, los errores accidentales en la determinación de P son fundamentalmente los de la medida de los ángulos verticales  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ . Expresados en segundos de arco, para cada una de las tres visuales, el máximo error accidental es de la forma:

$$E'' \leq \sqrt{l^2 + t^2 + i^2 + r^2} \dots\dots\dots(20)$$

Donde el máximo error accidental  $E''$  es el resultado acumulado de cuatro errores accidentales elementales, expresados en segundos de arco, así:

El error  $l''$  que es el máximo error en la lectura del ángulo vertical, es función a su vez de la aproximación  $\mu$  del limbo vertical. Su valor es  $2/3 \mu$  por lectura. Si se hace doble lectura, invirtiendo el aparato para compensar su error de colimación, entonces se aplica:

$$l'' \leq \mu\sqrt{2}/3 \dots\dots\dots(21)$$

El error  $t''$  que es el máximo error en puntería al observar P, es función a su vez de la amplificación del telescopio  $\Lambda$ . Si se hace doble lectura, invirtiendo el telescopio para compensar su error de colimación, entonces se aplica:

$$t'' \leq 10'' (25 + \Lambda) \frac{1}{25\Lambda\sqrt{2}} \dots\dots\dots(22)$$

El error  $i''$  que es el máximo error en la verticalidad del instrumento, es función a su vez de la sensibilidad del nivel  $\chi$ , que se estima en una fracción de la separación entre los reparos para el control de su burbuja. Aunque se hace doble lectura, únicamente se aplica  $\chi/12$  únicamente, dado que este error en los ángulos horizontales vale  $\chi/3$ :

$$i'' \leq \frac{\chi}{12} \dots\dots\dots(23)$$

El error  $r''$  que es el máximo error asociado a los errores  $k_1$  y  $k_2$  propios de la medida de la altura instrumental del aparato y de la señal observa ubicada en P, respectivamente donde influye a su vez de la longitud  $d$  de la visual y de su inclinación  $\epsilon$ . El error  $r$  es inversamente proporcional a  $d$  y directamente al ángulo  $\epsilon$  u y a los errores  $k_1$  y  $k_2$ . Aunque se hace doble lectura angular, únicamente se aplica el valor de  $r$  dado por:

$$r'' \leq \arctan\left(\frac{d \tan \epsilon}{d - k_1 + k_2}\right) - \epsilon \dots\dots\dots(24)$$

2.6 10. EJERCICIO NUMÉRICO

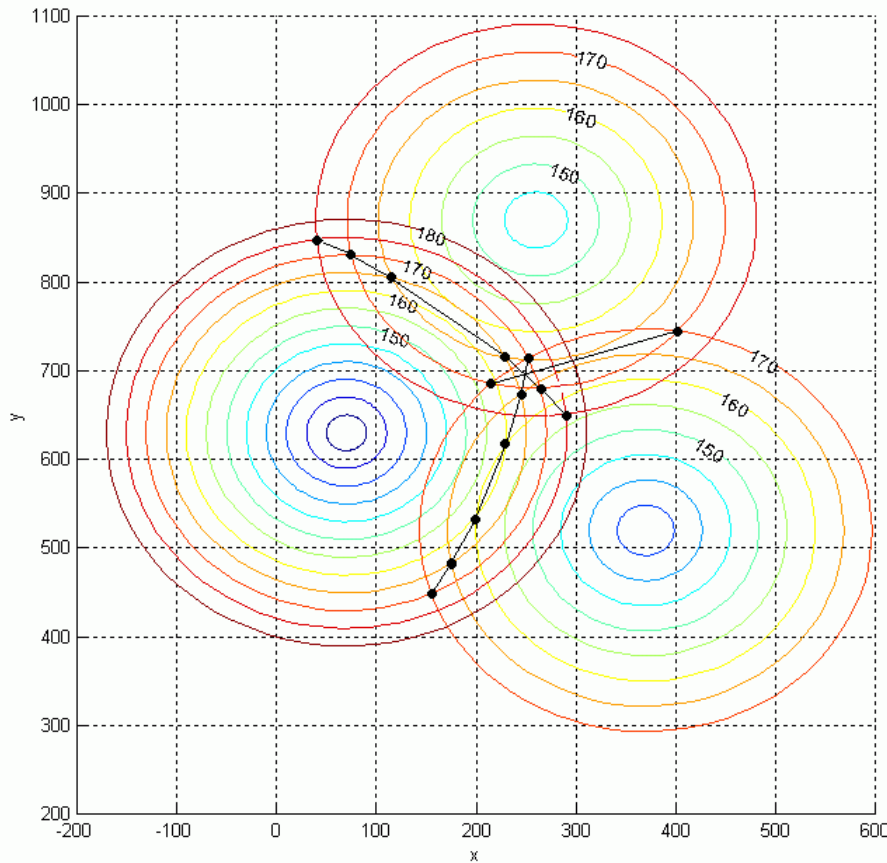


Figura 2.9 (10): La solución gráfica del problema Aleph: planta de la intersección cónica con su solución gráfica leída en la intersección de las tres rosas.

Sean A ( 70; 630; 120), B ( 370; 520; 130), C ( 260; 870; 140) tres puntos no intervisibles ubicados en una red de apoyo cuyas coordenadas en metros, incluyen en Z la altura instrumental, y desde los cuales se miden los ángulos de elevación  $\alpha = 14^\circ$ ,  $\beta = 10^\circ$  y  $\gamma = 9^\circ$  para un cuarto punto inaccesible P, interior a ABC , él que se desea conocer para ser utilizado a distancia como complemento de la red de apoyo.

Entonces, la solución aplicando métodos numéricos es: P1 = 249,26 m; P2 = 695,93 m; P3 = 167, 62 m. Aquí, las distancias entre P y los puntos A, B y C es del orden de los 200 m.

Ahora, si se hace esta operación con un equipo de lectura angular a 1", de alidada telescópica con 20 aumentos y niveles con sensibilidad de 30 segundos de arco, entonces: para una distancia media de 1 km y visuales de 20° de inclinación, asumiendo que los errores de centrado alcanzan hasta 1 cm, para aplicar

las fórmulas (21) a (24),

$$\mu = 1''; \Lambda = 20; \chi = 30; D = 1000; k_1 \text{ y } k_2; \epsilon = 20''$$

Así: los errores accidentales máximos,

$$l'' \leq \mu\sqrt{2}/3 \dots\dots\dots = 0''.5$$

$$t'' \leq 10'' \frac{(25 + \Lambda)}{25\Lambda} \frac{1}{\sqrt{2}} \dots\dots\dots = 0''.6$$

$$i'' \leq \frac{\chi}{12} \dots\dots\dots = 2''.5$$

$$r'' \leq \arctan\left(\frac{d \tan \epsilon}{d - k_1 + k_2}\right) - \epsilon \dots\dots\dots = 0''.7$$

Y el máximo valor de E'' en segundos de arco, con la ecuación (20), se puede estimar en:

$$E'' \leq \sqrt{0,5^2 + 0,6^2 + 2,5^2 + 0,7^2} \dots\dots\dots = 2''.7$$

Supongamos el trabajo se desarrolla en la zona cafetera. Evaluemos el error de curvatura terrestre y refracción atmosférica, para una visual de 1 km, si el coeficiente de refracción en la zona de trabajo es 0,07 y el radio de la tierra, dependiendo del azimut en esta latitud, vale entre 6.330 y 6.370 Km.

Según la ecuación (17), aplicada para R = 6,35 x 10<sup>6</sup> m, valor para un acimut de 45°,

$$v'' = (0,5 - k)d / R \text{ Sen } 1'' = (0,5 - 0,07)1000 / 6.35 \times 10^6 = 4,8481368 \times 10^{-6} = 14''.0$$

Ahora, el ajuste de las 3 medidas de la cota para la determinación de P con la precisión deseada, exige

considerar los efectos de la curvatura terrestre y la refracción atmosférica cuando las distancias superan los 300 m. Como las distancias son menores, aquí no procede; más sin embargo, para ilustrarlo se calcularán estas aplicando la ecuación (18), dando a  $k$  y  $R$  los anteriores valores, y estimando las distancias horizontales AP, BP y CP, en de forma gruesa, así:

Desde A:  $d_A=191$  m;  $\alpha = 14^\circ$ ;  $h_1 - h_2= 0$ . Luego,

$$H_A = 191 \operatorname{tag} 14^\circ + 0,43 \times 191^2 / 6,35 \times 10^6 = 0,002 \text{ m}$$

Desde B:  $d_B=214$  m;  $\beta = 10^\circ$ ;  $h_1 - h_2= 0$ . Luego,

$$H_B = 214 \operatorname{tag} 10^\circ + 0,43 \times 214^2 / 6,35 \times 10^6 = 0,003 \text{ m}$$

Desde C:  $d_C=174$  m;  $\gamma = 9^\circ$ ;  $h_1 - h_2= 0$ . Luego,

$$H_C = 174 \operatorname{tag} 9^\circ + 0,43 \times 174^2 / 6,35 \times 10^6 = 0,003 \text{ m}$$

## 2.6 11. OBSERVACIONEC PRÁCTICAS:

Debe procurarse una conformación buena de "ALEPH", para que la solución interna o externa, sea diferenciada e identificable (ya se definió la conformación de 'ALEPH').

Los cenitales que se midan en cada estación deberán ser el promedio de igual número de observaciones en ambas posiciones del telescopio.

Las alturas absolutas A3, B3, C3 serán las de los instrumentos a la altura de su eje de basculamiento.

Puede ejecutarse tanteo, para lograr P3 analíticamente, con la suma de los ángulos  $a_1$  y  $a_2$  (Figura 7).

Son buenos tres cenitales "no próximos al horizonte"; un error angular, en la medición, desplaza las coordenadas P1 y P2 en mayor proporción que a P3, si las visuales no llegan a pendientes del 11% y con gran efecto multiplicador, si son próximas al horizonte.

## **2.6 12. APLICACIONES DE "ALEPH"**

"ALEPH" resulta con ventaja para lanzar coordenadas a puntos inaccesibles (campanarios, etc.) facilitando la densificación de las redes de apoyo. También este método ofrece ventajas para el control de deformaciones sobre estructuras y las medidas a distancia de desplazamientos absolutos en masas inestables de suelo y roca.

Esta práctica podría conducir a la supresión de las redes catastrales planimétricas convencionales, las que serían sustituidas por puntos notorios de las ciudades.

El arrastre de coordenadas, entonces, se ejecutaría con la aplicación de los problemas de "HANSEN" o de "POTHENOT" que se estudian en la intersección inversa.

Se tendría así, un procedimiento topográfico de bajo costo y alta eficiencia, ya que minimizaría el número de operaciones escalonadas en la determinación de puntos para el amarre de urbanizaciones, etc.

“ALEPH” como herramienta para la intersección cónica de precisión, sirve para complementar la triangulación topográfica al generar una ecuación de condición adicional, dado que con este método, para determinar un punto notable, basta la medida de tres ángulos cenitales no horizontales a dicho punto, efectuadas una a una desde tres puntos conocidos no intervisibles.

## **2.6- 13. BIBLIOGRAFIA**

DAVIS, RAIMOND E. FOOTE, FRANCIS S. KELLY, JOE W. (MANTERO JOSE MARIA Traductor). "TRATADO DE TOPOGRAFIA". 3a. ed. Aguilar S.A., Madrid, 1971.

DOMINGUEZ GARCIA; TEJERO, FRANCISCO. "TOPOGRAFIA ABREVIADA" 4a. ed. Dossat S.A. Madrid, 1981.

I.G.A.C. "GEODESIA" RESULTADOS DEFINITIVOS DE PARTE DE LAS REDES GEODESICAS ESTABLECIDAS EN EL PAIS. Publicación especial N01. 4a. ed. Bogotá, 1975.

JORDAN, W. (MANTERO, JOCE MARIA Traductor). "TRATADO GENE - RAL DE TOPOGRAFIA" Tomos I y II. Gustavo Gili S.A. Barcelona, 1944.

TRAITE DE GEODESIE. –Dexieme Edition Entierement Refoundue. PIERRE TARDI & GEORGES LACLAVERE. Libraire Du Bureau Des Longitudes De L'ecole Polytechnique. Paris 1951.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, SEDE MANIZALES. BOLETIN DE VIAS, Vol. 10 N° 49. DUQUE ESCOBAR, GONZALO. "PROBLEMA ALEPH". UNA SOLUCION TOPOGRAFICA. Manizales, Jul-oct. 1982.

\*Versión revisada y complementada por el autor, en marzo de 2006.

...

## Lecturas complementarias N° 2

<u><a href="#">Aqua como bien público.</a></u>	<u><a href="#">Crisis y opciones en el Río Grande de Colombia.</a></u>	<u><a href="#">Paisaje y región en la Tierra del Café.</a></u>
<u><a href="#">Aqua y clima en el desafío ambiental.</a></u>	<u><a href="#">Cultura del agua en los ríos urbanos.</a></u>	<u><a href="#">Preservación Ambiental e Hídrica dentro de la Declaratoria del PCCC.</a></u>
<u><a href="#">Agua subterráneas.</a></u>	<u><a href="#">Eje Cafetero: construcción social e histórica del territorio.</a></u>	<u><a href="#">Procesos de Control y Vigilancia Forestal en la Región Pacífica y parte de la Región Andina de Colombia.</a></u>
<u><a href="#">Amenaza para la Reserva de Río Blanco en Manizales.</a></u>	<u><a href="#">El Río Grande, su ecosistema y la hidrovía.</a></u>	<u><a href="#">¿Réquiem por la Reserva Forestal Protectora de Río Blanco?</a></u>
<u><a href="#">Calentamiento global en Colombia.</a></u>	<u><a href="#">El llanto de Yuma bajo el cielo de Guarinocito.</a></u>	<u><a href="#">Río Blanco, cuna de vida...</a></u>
<u><a href="#">Centro Sur de Caldas: ¿Un Área Metropolitana?</a></u>	<u><a href="#">Gestión y política pública, para el patrimonio natural en Colombia.</a></u>	<u><a href="#">Sistematización de Experiencias y Estrategias de los PAI de la cuenca del río Guarinó y en Guarinocito.</a></u>
<u><a href="#">Clima: las heladas.</a></u>	<u><a href="#">La actividad minera solicitada en Planalto, es incompatible con el medio ambiente.</a></u>	<u><a href="#">Subregiones del departamento de Caldas: Perfiles.</a></u>
<u><a href="#">Construyendo el territorio UMBRA.</a></u>	<u><a href="#">La Aurora V.S. la Reserva Río Blanco.</a></u>	<u><a href="#">Temas cívicos para agendas de desarrollo regional.</a></u>
<u><a href="#">Centenario "canalero".</a></u>	<u><a href="#">La historia del Cerro Sancancio.</a></u>	<u><a href="#">UMBRA: la Ecorregión Cafetera en los Mundos de Samoga.</a></u>
<u><a href="#">Colombia Intermodal: Hidrovías y Trenes.</a></u>	<u><a href="#">Nuestros bosques de niebla en riesgo.</a></u>	
<u><a href="#">Colombia geoestratégica.</a></u>	<u><a href="#">Páramos vitales para la Ecorregión Cafetera.</a></u>	
<u><a href="#">Colombia, país de humedales amenazados.</a></u>		
<u><a href="#">Colombia Tropical ¿y el agua qué?</a></u>		

..

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA (1867-2017)**



**GUÍA ASTRONÓMICA**

**Gonzalo Duque-Escobar**

**MANIZALES, 2020**

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3252>

Anexo 1: Colombia tropical: ¿y el agua qué?.	Anexo 12: La Luna
Anexo 2: Calentamiento global en Colombia	Anexo 13: Cultura y Astronomía (C&A)
Anexo 3: Aspectos geofísicos y amenazas naturales en los Andes de Colombia.	Anexo 14: Astronomía en La Edad Media y el Renacimiento.
Anexo 4: El camino a las estrellas.	Anexo 15: Sol, lunas y planetas.
Anexo 5: Isaac Newton	Anexo 16: Manual de geología para ingenieros
Anexo 6: Albert Einstein.	Anexo 17: Riesgo sísmico: los terremotos.
Anexo 7: Stephen Hawking	Anexo 18: CTS, Economía y Territorio.
Anexo 8: Geotecnia para el trópico andino.	Anexo 19: Cultura y Turismo en Caldas.
Anexo 9: Preservación Ambiental e Hídrica del Paisaje Cultural Cafetero.	Anexo.20: El Río Cauca y el desarrollo de la región.
Anexo 10: Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial.	Anexo 21: Videos: Temas de Astronomía y Medio Ambiente.
Anexo 11: Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia.	Anexo.22: UMBRA: la Ecorregión Cafetera en los Mundos de Samoga.
Enlaces U.N.: <a href="#">Textos “verdes”</a>	<b>El Autor: Gonzalo Duque-Escobar</b>

**HOME:**

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3252>

CONTENIDO: PRESENTACIÓN. GUÍA Nº 1. HISTORIA DE LA ASTRONOMÍA. GUÍA Nº 2. COORDENADAS ASTRONÓMICAS. GUÍA Nº 3. ELEMENTOS DE MECÁNICA PLANETARIA. GUÍA Nº 4. TIEMPO Y CALENDARIOS. GUÍA Nº 5. EL SISTEMA SOLAR. GUÍA Nº 6. SOL, LUNAS Y PLANETAS. GUÍA Nº 7. COSMOGRAFÍA. GUÍA Nº 8. ELEMENTOS DE ASTROFÍSICA. GUÍA Nº 9. LAS ESTRELLAS. GUÍA Nº 10. LAS GALAXIAS. GUÍA Nº 11. EL UNIVERSO. GUÍA Nº 12. TEORÍAS COSMOGÓNICAS. GUÍA Nº 13. ASTRONOMÍA EN COLOMBIA. BIBLIOGRAFÍA

**A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.**





	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA (1867-2017)</p>  <p>GUÍA ASTRONÓMICA</p> <p>Gonzalo Duque-Escobar</p> <p>GUÍA N° 3:</p> <p>ELEMENTOS DE MECÁNICA PLANETARIA</p> <hr/> <p>Sistema Tierra Luna. Nasa.gov</p>
---	---

### 3.1. POSICIONES DE UN PLANETA INTERIOR Y DE UNO EXTERIOR

Tomando el Sol como centro se dibujan las órbitas de tres planetas; sean ellos Venus, Tierra y Marte respectivamente a partir del Sol.

Si la traslación de los planetas es retrógrada con relación a la estrella Polar y las velocidades orbitales resultan poco diferentes, los períodos (años) de los planetas difieren y las posiciones de ellos son las siguientes, vistas desde la Tierra y con relación al Sol.

Como asunto fundamental, las estrellas parecen fijas o firmes en el cielo o **firmamento**, mientras los planetas son **errantes**.

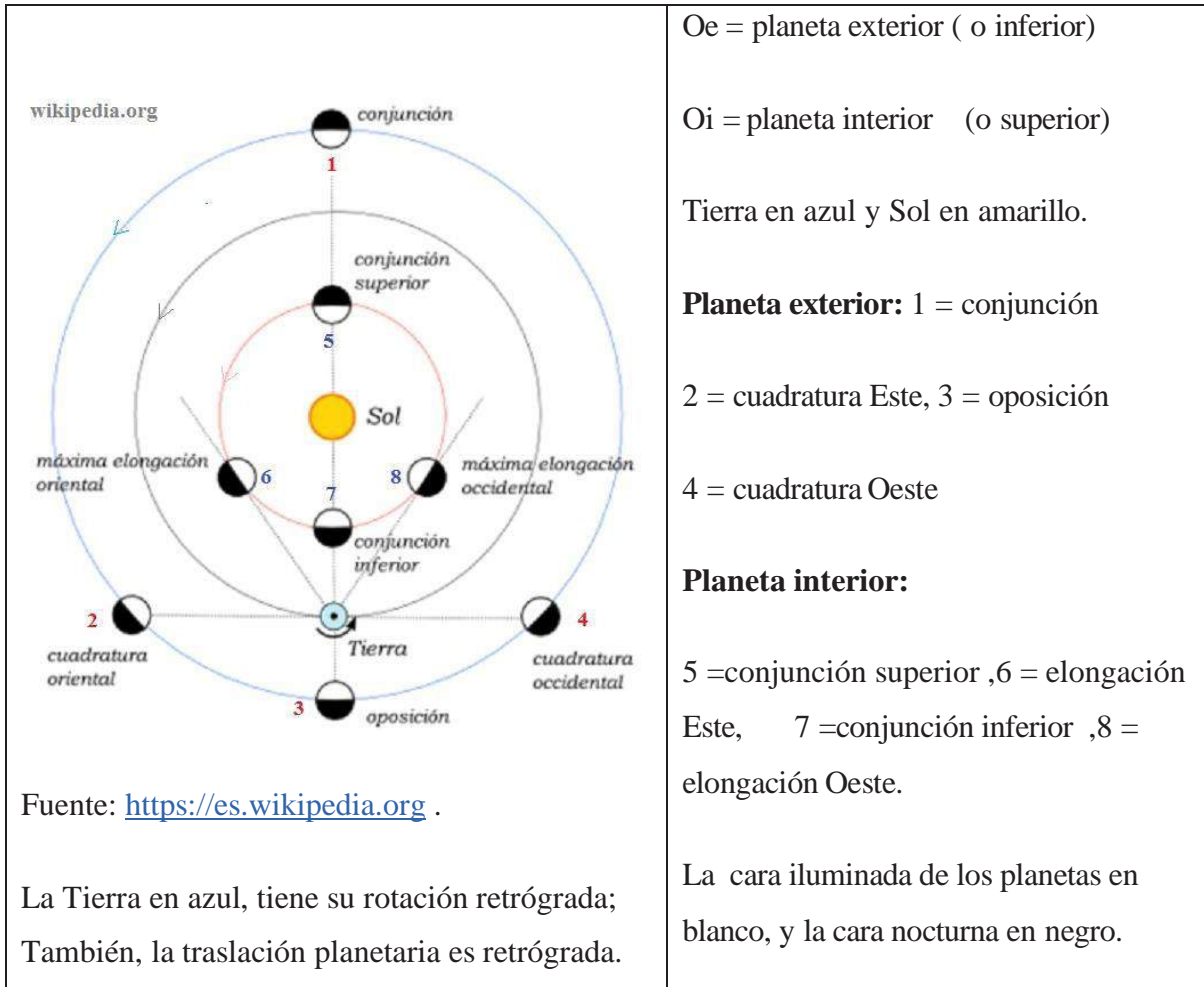


Figura 3.1. Posiciones Planetarias: puntos notables para un planeta exterior a la Tierra (arriba) y para un planeta interior a la Tierra (abajo). Fuente, Wikipedia

Nos preguntamos ahora ¿Cómo diferenciar planetas de estrellas y planetas entre sí?

Es importante **diferenciar los planetas de las estrellas**. Los primeros no titilan, las estrellas sí. Ello se debe a la atmósfera. Además, los planetas, que siempre aparecen ubicados en vecindades de la eclíptica, con los días cambian de posición respecto a las estrellas del fondo.

Por la enorme distancia que nos separa de las estrellas, sólo nos llega de cada una de ellas un rayo de luz. Por los movimientos del aire, ese rayo que se desvía intermitentemente yendo y viniendo al ojo, hace que la estrella titile.

Contrariamente, de los planetas llegan muchos rayos de luz, simultáneamente, hasta el ojo del observador. Cuando uno de ellos se desvía a causa del aire, otro rayo toma de inmediato su posición, y por lo tanto la imagen del planeta no titila.

Pero también es importante **diferenciar los planetas entre sí**. Los planetas interiores no pueden ser vistos a media noche, como ocurre con planetas exteriores, que tienen oposición. Los primeros, según su elongación, serán visibles horas o minutos después del atardecer o antes de la madrugada.

El color rojo o anaranjado de Marte y Saturno más intenso en el primero y el color blanco de Venus y Júpiter, contribuye también a la diferenciación del planeta. Pero adicionalmente, las fases y los movimientos que muestre el astro son importantes.

- a) Los planetas interiores, como Mercurio y Venus, tienen las cuatro fases de la Luna: como se muestra en la fig. 3.2. Por supuesto, que la imagen de la izquierda, corresponde al modelo correcto.

El brillo de Venus es variable en el cielo. Las posiciones interesantes a registrar son las ocultaciones con la Luna y los tránsitos por adelante y por atrás del Sol.

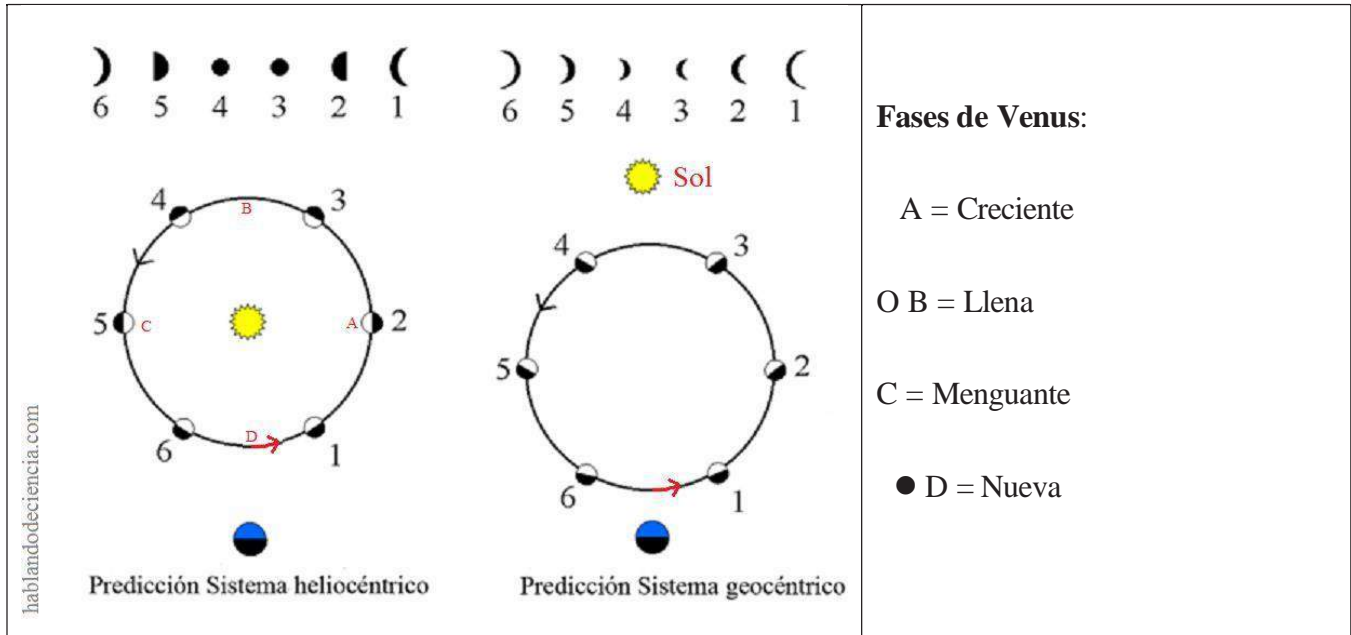
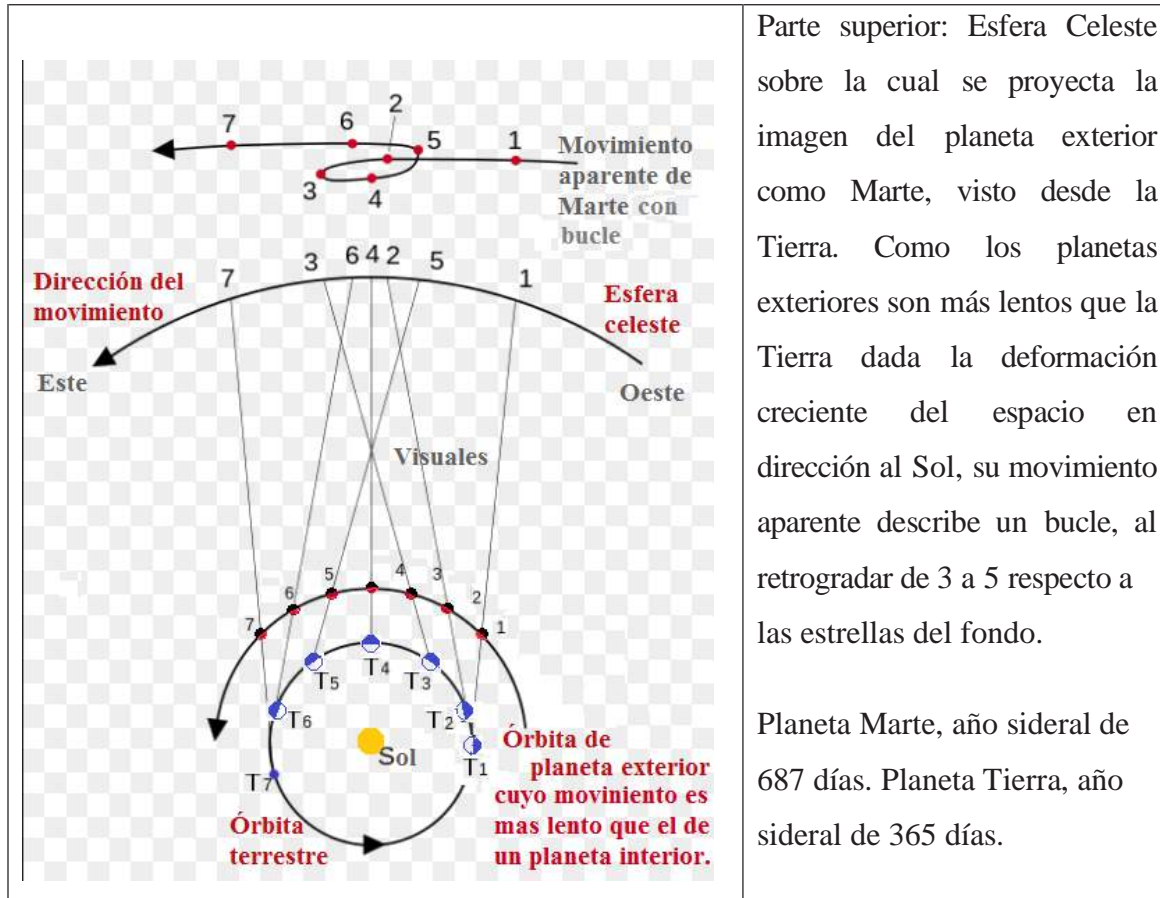


Figura 3.2. Fases de Venus: Cara iluminada de la Tierra, y de un planeta interior, de acuerdo al sistema Tierra-Planeta-Sol. En la parte superior aparecen las fases y tamaños que deberían ser observados desde la Tierra.

Fuente: [www.hablandodeciencia.com](http://www.hablandodeciencia.com)

- b) Los planetas exteriores próximos (Marte, Júpiter y Saturno) son visibles y hacen bucles. La fig. 3.3 muestra el movimiento retrógrado de un planeta exterior, como Marte.
- c) Los planetas interiores pueden ofrecer tránsito y ocultación durante sus conjunciones, mientras los exteriores sólo ocultaciones por el disco solar. Los exteriores, pueden tener oposiciones, no los interiores.



Parte superior: Esfera Celeste sobre la cual se proyecta la imagen del planeta exterior como Marte, visto desde la Tierra. Como los planetas exteriores son más lentos que la Tierra dada la deformación creciente del espacio en dirección al Sol, su movimiento aparente describe un bucle, al retrogradar de 3 a 5 respecto a las estrellas del fondo.

Planeta Marte, año sidereal de 687 días. Planeta Tierra, año sidereal de 365 días.

Figura 3.3 Movimiento retrógrado de Marte: la imagen de Marte proyectada sobre la esfera celeste, hace un bucle entre las posiciones 3 y 5. Parte inferior: Sol y órbitas de Tierra y Marte, con 5 posiciones sucesivas.

**3.2. VALORES PARA LAS CONFIGURACIONES DE LOS PLANETAS**

Se pueden evaluar las posiciones notables de los planetas utilizando este sistema de referencia. En la astrología, resulta de común uso el conocimiento de las fechas en que se dan posiciones con los ángulos geocéntricos notables de  $0^{\circ}$   $30^{\circ}$   $60^{\circ}$   $90^{\circ}$   $120^{\circ}$  y  $180^{\circ}$  entre constelaciones zodiacales y planetas, para aplicar sus significados (o los contrarios) a las personas, según la fecha de nacimiento. Véase Fig. 3.1.

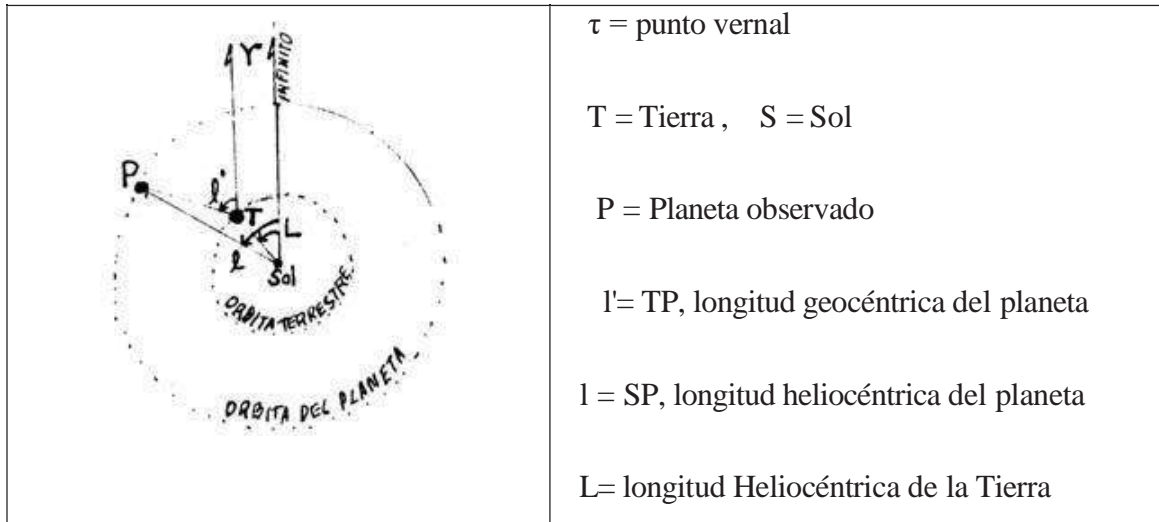


Figura 3.4 Longitudes geocéntrica y heliocéntrica: son los valores angulares para un planeta, tomando como centro la Tierra o el Sol:

En astronomía, las posiciones de interés son las que permiten llegar a las efemérides, con las cuales se calculan posiciones en tierra o mar. Para incluir en las efemérides las fechas de los tránsitos y las oposiciones, debe partirse de los valores de las configuraciones planetarias, expresados en función de la diferencial  $l-L$ .

Conjunción inferior  $l - L = 0^\circ$

Conjunción superior  $l - L = 180^\circ$

Elongación W  $l - L = 90^\circ - \theta$

Elongación E  $l - L = 270^\circ - \theta$

Conjunción  $l - L = 180^\circ$

Oposición  $l - L = 0^\circ$

Las máximas elongaciones Este y Oeste, son: para Mercurio  $\theta = 27^\circ$  y para Venus  $\theta = 48^\circ$

### 3.3. LEYES DE KEPLER

Johannes Kepler, basado en las posiciones de Marte, que Tycho Brahe observó y midió, publica en 1609 las dos primeras leyes del movimiento planetario y en 1619 la Tercera ley.

Estas leyes permiten consolidar el esquema heliocéntrico, mejorar las predicciones astronómicas y dimensionar el tamaño del sistema solar.

1. Cada uno de los planetas se mueve siguiendo una órbita en forma de **elipse**, en uno de cuyos focos se encuentra el Sol.
2. Al moverse un planeta, su radio vector  $r$  (línea planeta Sol) describe iguales **áreas** en iguales intervalos de tiempo  $t$ .
3. Los cuadrados de los **períodos de revolución** sidéreos de los planetas  $T$ , son proporcionales a los cubos de los semiejes mayores de sus órbitas  $a$  (a los cubos de sus distancias medias al Sol). Ver Fig. 3.5.

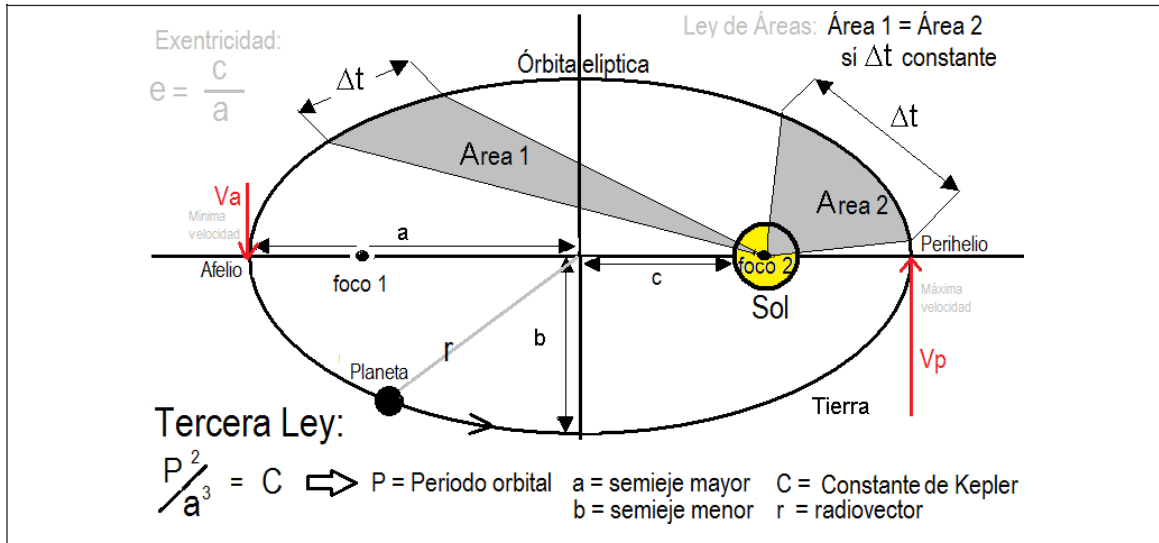


Figura 3.5 Representación de las leyes de Kepler: Órbita elíptica de un planeta, con el Sol en uno de sus focos, según la primera ley. Los textos aluden a la segunda y a la tercera ley.

De acuerdo a la fig. 3.5 y a la fig. 3.6, la línea de los ápsides es la recta del afelio al perihelio, cuya longitud es  $2a$ , siendo  $a$ , el semieje mayor de la elipse. Siendo  $F$  el foco de la elipse ocupado por el Sol como centro de masa;  $A$ , el afelio y  $P$  el perihelio del planeta, y  $O$  el centro geométrico de la elipse, tenemos:

$$AO = OP = a$$

$$OF = c$$

$$e = c/a = \text{excentricidad}$$

Definida la **excentricidad**  $e$ , como el cociente entre los valores anteriores, los tipos de órbitas podrán ser:



Órbita parabólica si  $e = 1$

Órbita elíptica si  $0 < e < 1$

Órbita circular si  $e = 0$

También, la distancia máxima entre el Sol y el planeta, AF, y la distancia mínima FP, están dadas por

$$AF = a(1 + e)$$

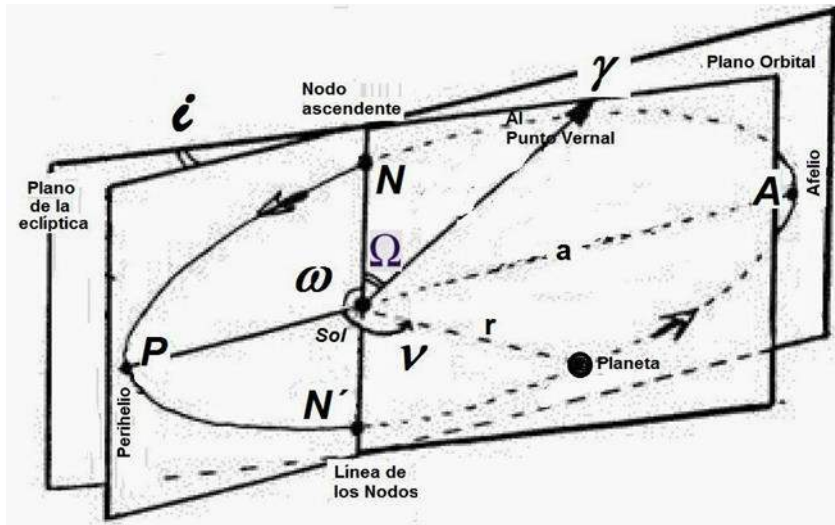
$$FP = a(1 - e)$$

En el segundo miembro de cada ecuación **a** representa el valor del semieje mayor de la elipse y **e** su excentricidad.

### 3.4. ELEMENTOS DE LAS ÓRBITAS PLANETARIAS

Los elementos de una órbita sirven para determinar la órbita de un satélite, un planeta, etc. Supongamos que el plano de una órbita, se describe con relación al plano de la eclíptica. En consecuencia se debe conocer la inclinación de ambos planos, la línea de intersección entre ellos, la geometría de la órbita elíptica y la posición de esa elipse, entre otras variables.

Para ilustrar los comentarios veamos la fig. 3.6 siguiente:



$\Omega$  = longitud de los nodos NN'.  $i$  = inclinación del plano orbital.  $e = c/a$ .  $e = (a-b)/a$ .  $a$  y  $b$  = semiejes orbitales.  $v$  = anomalía verdadera.  $r$  = radio vector de posición.  $T$  = paso por el perihelio.  $t$  = momento de coordenadas  $v$  y  $r$ .  $W$  = argumento del perihelio

Figura 3.6 Elementos de una órbita: Intersección entre un plano orbital y la eclíptica, para describir los elementos de una órbita planetaria.

A modo de ejemplo, los elementos de la órbita del cometa Halley (órbita número 33 del International Halley Watch) son:

- instante de paso por el perihelio 1986 febrero 9, 45862,
- distancia al Sol en el perihelio 0,5871012 UA,
- excentricidad 0,9672750, argumento del perihelio  $111^{\circ},84652$ ,
- longitud del nodo ascendente  $58^{\circ},14341$ ,&
- inclinación  $162^{\circ},23921$ .

### 3.5. ECLIPSES DE SOL Y DELUNA

Los eclipses de Sol tienen lugar en **novilunio**; los eclipses de Luna, en **plenilunio** y cuando la Luna está situada en el plano de la órbita terrestre o en la vecindad inmediata del nodo ascendente o descendente. En el primer caso, la Luna oculta en mayor o menor medida al Sol; en el segundo, la Luna desaparece total o parcialmente en la sombra de la Tierra.

Las condiciones anteriores hacen que los eclipses se produzcan separados por medio año aproximadamente. En efecto, si los nodos de la órbita lunar están en las proximidades del equinoccio de primavera y otoño sobre la eclíptica, es de prever que haya eclipses de Sol en la Luna Nueva apareciendo en torno al 21 de marzo y al 23 de septiembre, respectivamente, y eclipse de Luna en la fase de plenilunio que se dé en ese mismo intervalo.

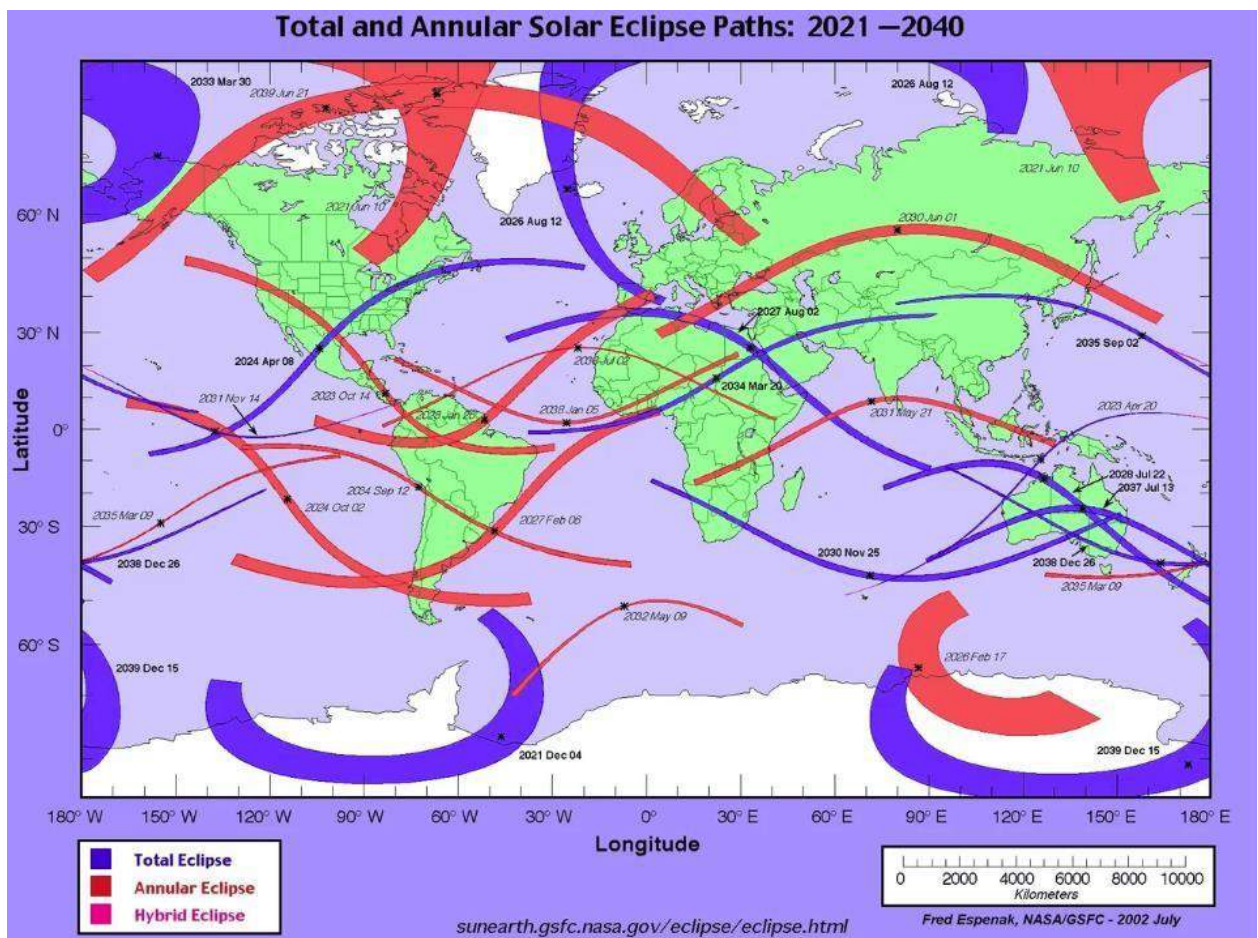


Figura 3.7: Eclipses de Sol 2021-2040. <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/>

Por término medio hay anualmente 2 a 3 eclipses de Sol y de 1 a 5 eclipses de Luna. Ahora bien, como la línea de nodos es retrógrada, se van adelantando los eclipses de año en año, repitiéndose exactamente igual al cabo de unos 18 años.

La duración exacta de este **período de Saros** se puede calcular, si se tienen en cuenta que 223 meses sinódicos equivalen casi exactamente a 242 meses dracónicos: 18 a 10,3216 d frente a 18 a 10,3592 d. La pequeña diferencia de 0,0376 d hace, sin embargo, que los ciclos de Saros de eclipses iguales se desfasen de nuevo al cabo de algunos milenios.

### 3.5.1. Eclipses de Sol

En los eclipses de Sol hay que distinguir las siguientes formas:

1. **Eclipses parciales:** en los cuales la Luna nueva sólo oculta una parte del disco solar. El observador está situado entonces en la **penumbra** de la Luna.
2. **Eclipses totales:** en los cuales queda oculto el disco solar entero. El observador se halla en la **umbra** de la sombra que proyecta la Luna. Dado que esta sombra sobre la superficie terrestre sólo tiene un diámetro máximo de 200 km, los eclipses totales sólo son visibles desde una región muy limitada. Debido al efecto conjunto del movimiento de la Luna alrededor de la Tierra y de la rotación de ésta, la sombra de la Luna se desplaza con una velocidad de unos 28 km /min. por encima de la superficie terrestre (en el ecuador) y barre una banda de totalidad (casi siempre de W a E) sobre la cual se va observando sucesivamente un eclipse total de Sol. La totalidad dura un máximo de 8 minutos; en ese intervalo el cielo se oscurece hasta el punto de hacerse visibles muchas estrellas y planetas. Alrededor del disco solar oculto aparece el anillo luminoso de la corona.

3. **Eclipse anular:** en el cual se hace visible un anillo del disco solar. Si la Luna está cerca de su **apogeo** (a la mayor distancia de la Tierra), entonces el diámetro angular de su disco es tan pequeño que no se produce un eclipse total sino anular.

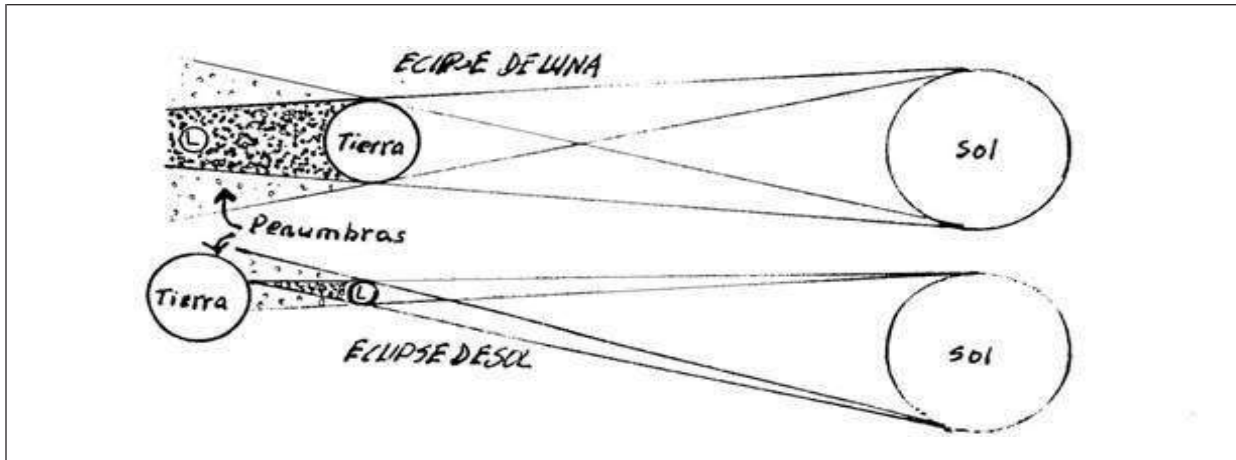


Figura 3.8 Eclipses de Luna y de Sol: Arriba, de Luna y abajo de Sol. En el caso del eclipse de sol, si el cono de la umbra no alcanza la tierra, se produce eclipse anular.

### 3.5.2. Eclipses de Luna

Los eclipses de Luna, a diferencia de los de Sol, son visibles desde una zona geográfica mucho mayor; concretamente desde todo el **lado nocturno** de la Tierra que tiene la Luna llena sobre el horizonte. La zona de visibilidad es incluso mayor al 50% de la superficie terrestre, debido a que los eclipses de Luna llegan a durar hasta un máximo de 3½ horas.

La sombra que proyecta la Tierra aparece algo aclarada y suele mostrar una coloración rojiza. Incluso en un eclipse total de Luna, es raro que la Luna desaparezca del todo. El fenómeno se debe a la atmósfera terrestre: los rayos de Sol que inciden tangencialmente en ella se refractan y penetran en el **cono de sombra** proyectado

por la Tierra, y es la luz rojiza de longitud de onda larga la que pasa con más facilidad. El tipo de coloración y el grado de obscurecimiento en un eclipse de Luna dependen de las condiciones atmosféricas de la Tierra, pero a veces también, del contenido de polvo de la atmósfera, habiéndose observado eclipses oscuros después de erupciones volcánicas.

### 3.6. LEY DE LA GRAVITACIÓN

La ley de la gravitación enunciada por Isaac Newton, dice que todas las masas del Universo se atraen mutuamente con una fuerza **F** que es proporcional al producto de las dos masas **m<sub>1</sub>** y **m<sub>2</sub>** e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia **r**, así:

$$\mathbf{F} = \mathbf{G} \mathbf{m}_1 \mathbf{m}_2 / \mathbf{r}_t^2$$

Donde **G** es la constante gravitatoria universal.

Para calcular la gravedad en la superficie de la Luna y compararla con la de la Tierra, imaginemos la Tierra o la Luna de forma esférica y despreciemos los efectos de su rotación. La fuerza de la gravedad en la superficie de la Tierra, es **g<sub>t</sub>**, cuyo valor está dado por:

$$\mathbf{g}_t = \mathbf{G} \mathbf{m}_t / \mathbf{r}_t^2$$

Hemos denominado **m<sub>t</sub>** y **r<sub>t</sub>** a la masa y radio de la Tierra. Además **G** es la constante de gravitación. El valor de la aceleración **g<sub>l</sub>** en la superficie de la Luna, si su masa y radio son **m<sub>l</sub>** y **r<sub>l</sub>**, esta dado por una expresión análoga:

$$g_l = G m_l / r^2$$

Dividiendo entre sí ambas ecuaciones se obtiene la relación de las fuerzas de gravedad, al reemplazar numéricamente masas y radios, que para el efecto es seis veces mayor en la Tierra.

De la ley gravitatoria se pueden deducir las leyes de Kepler. La tercera, para un planeta de masa **m** dice:

$$\frac{a^3}{p^2(M + m)} = \frac{G}{4\pi^2}$$

Donde **M** es la masa del Sol y **a** la distancia Sol-Planeta

Un planeta se haya en una órbita estable cuando no se precipita hacia el Sol, como consecuencia de la fuerza de gravedad, ni sale despedido de la órbita como consecuencia de la fuerza centrífuga. La fuerza de gravedad del Sol y la fuerza centrífuga tienen que equilibrarse mutuamente.

**La fuerza centrífuga** **C** depende de la masa **m** del planeta, de su velocidad orbital **v** y del radio de curvatura **r** de la órbita, es decir, de la distancia planeta- Sol.

$$C = mv^2/r$$

**Cálculo de la masa de un planeta con satélite.** Tomemos el Sol de masa **M**, el planeta de masa **m** y el satélite de masa **Ms**. Sean los períodos **p** del planeta y **Ps** del satélite, y **G** la constante de gravitación de Newton. Las fórmulas más exactas en la tercera ley, nos permiten decir que:

Planeta vs. Sol:

$$p^2(m + M) = \frac{4\pi^2}{G} a^3 \quad (I)$$

Satélite vs. Planeta:

$$p_s^2(m_s + m) = \frac{4\pi^2}{G} a_s^3 \quad (\text{II})$$

Dividiendo las ecuaciones I y II tenemos:

$$\frac{p_s^2(m_s + M)}{p_s^2(m_s + m)} = \frac{a_s^3}{a_s^3} \quad \text{es decir} \quad \frac{p_s^2(1 + \frac{M}{m_s})}{p_s^2} = \frac{a_s^3}{a_s^3}$$

Hemos dividido por **m** y considerado **m<sub>s</sub>/m** despreciable. Luego:

$$\left(\frac{M}{m}\right) = \left(\frac{a}{a_s}\right)^3 \left(\frac{p}{p_s}\right)^2 - 1$$

∴ Con lo cual, como **M/m** se conoce, sale **m**.

### 3.7. ROTACIÓN DE DOS CUERPOS ALREDEDOR DE UN CENTRO DE MASA

El esquema muestra un sistema doble, conformado por dos soles que se orbitan entre sí. Las dos órbitas están en el mismo plano y los focos de las órbitas deben alinearse y disponerse de tal manera que ambas tengan un foco común en el centro de masa. Los sistemas de tres y más cuerpos presentan varias soluciones, razón por la cual dichos sistemas múltiples resultan indeterminados. Sea **a**, el centro de masa del sistema.

Al tratarse de elipses, siendo **A<sub>1</sub>** y **A<sub>2</sub>** los semiejes mayores, la distancia entre los dos cuerpos **d<sub>1</sub> + d<sub>2</sub>**, será el producto entre uno de los semiejes y la razón de las masas **X/Y** o **Y/X** según se trate de **A<sub>1</sub>** o **A<sub>2</sub>**.



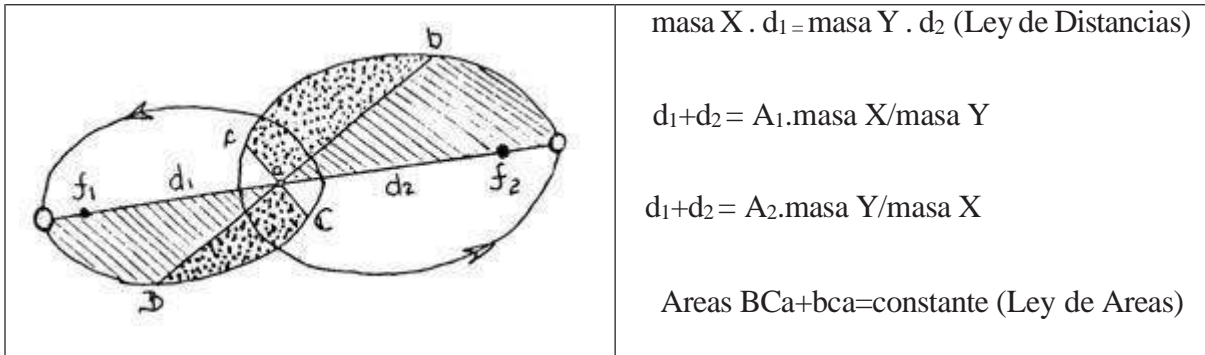


Figura 3.9 Problema de los dos cuerpos: Dos estrellas girando alrededor de un centro de masa “a”, para ilustrar el problema de dos cuerpos.

En este arreglo geométrico el período de los planetas es el mismo (condición de alineamiento con el centro de masa **a**), al igual que la excentricidad de las elipses (por la relación anterior).

Si la **masa** de un cuerpo **X** resulta insignificante, comparada con la de su compañero **Y**, como el caso del sistema Luna-Tierra o del sistema Tierra-Sol, el centro de masa coincide prácticamente con la masa **Y**, y la distancia total ( $d_1 + d_2$ ) se hace semejante a  $d_1$ .

En este caso el segundo cuerpo de gran masa puede considerarse en reposo, como primera aproximación, para que el primero describa una órbita elíptica, cuyo semieje será la suma de los semiejes  $A_1 + A_2$  con el segundo en uno de sus focos, de la manera que se ha ilustrado en las leyes de Kepler.

Para el caso de dos cuerpos con **masas similares**, la órbita es también una elipse cuyo semieje mayor es igual a la suma de los semiejes  $A_1 + A_2$ .

Ilustraremos el caso del sistema Tierra-Luna, haciendo uso de los siguientes valores para conocer qué tan cerca de la Tierra, y lejos de la Luna, se encuentra el centro de masa a:

Relación de masas entre la Tierra y la Luna  $m_T/m_L = 81$  (1)

Distancia media entre la Tierra y la Luna  $(d_T + d_L) = 384400 \text{ km}$  (2)

Por lo visto en la relación de la fig. 3.8  $1/81 = d_T/d_L$

De las dos últimas ecuaciones (1) y (2)  $d_T = 384400 - 81 d_T$

Se obtiene de la anterior ecuación una distancia  $d_T$  de 4700 km, valor que, comparado del radio de la Tierra de 6378 km, nos dice que el centro de masa, alrededor del cual orbitan la Luna y la Tierra, queda en el manto de la Tierra y a una profundidad del orden de 1678 km, medidos desde su superficie.

### 3.8. VELOCIDAD ORBITAL

¿A qué velocidad debe girar la Tierra para **mantenerse en órbita**?

Si gira muy rápido escapa, si gira muy lento cae al Sol. Calcularemos  $V_1$  y  $V_2$  que son las **velocidades límites** para el giro del planeta.

Fórmula General

$$V^2 = G(M + m) \left[ \frac{2}{r} - \frac{1}{a} \right]$$

Si  $r = a$ : la trayectoria es circular y se obtiene la primera velocidad de escape, que es

$$V_1 = \sqrt{\frac{G(M + m)}{r}}$$

Si  $a$  es infinito: la trayectoria es parabólica y se obtiene la segunda velocidad de escape que es

$$V^2 = \sqrt{\frac{2G(M + m)}{r}}$$

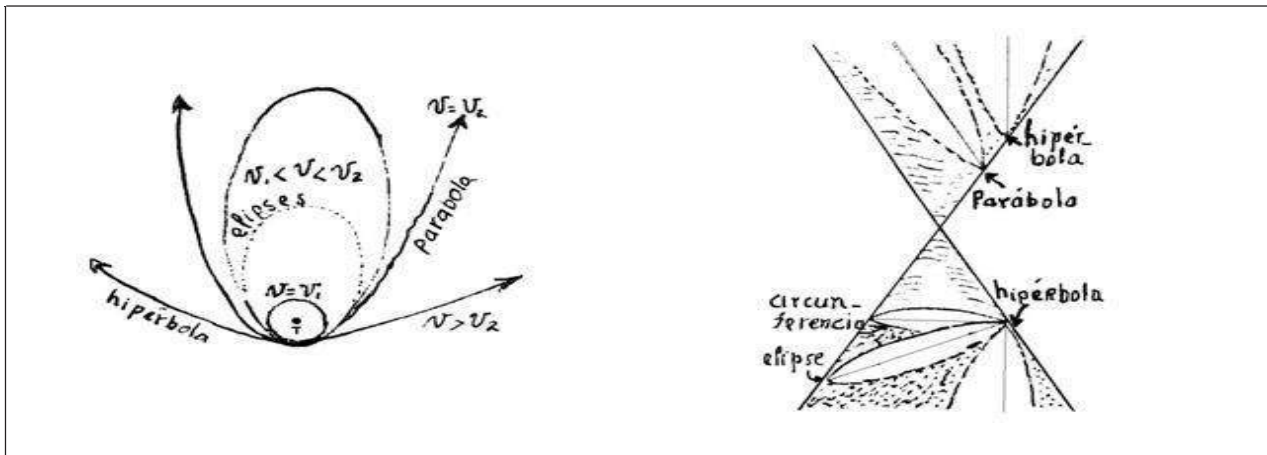


Figura 3.10 Las Cónicas: Superficie cónica, que intersecada por un plano, genera las cónicas.

Igualmente, en caso de órbita elíptica, la velocidad es variable, pero su valor máximo, en el perihelio, no supera  $V_2$  y su valor mínimo, en el afelio, no resulta inferior a  $V_1$ .

Llamando a ambas velocidades  $V_p$  y  $V_a$  respectivamente, en una órbita de excentricidad  $e$ , se debe cumplir que:

$$(1 - e)V_p = (1 + e)V_a$$

De la segunda velocidad de escape depende que un cuerpo celeste tenga atmósfera, pues dicho valor se compara con la velocidad térmica de las moléculas de gas dada por la siguiente expresión que involucra la temperatura ambiental  $T$  y la masa molecular  $m$ :

$$V \approx \sqrt{\frac{kT}{m}}$$

Mientras la segunda velocidad de escape en la Tierra, es de 11,2 km/s, las velocidades térmicas moleculares de los gases ligeros a la temperatura de  $300^0$  K, son: para el hidrógeno, 1,1 km/s y para el helio, 0,8 km/s. Para el oxígeno y el nitrógeno, los valores son del orden de los 0,3km/s.

### 3.9. EJEMPLOS DE TRANSITOS PLANETARIOS

Los tránsitos astronómicos, son el fenómeno durante el cual un astro pasa por delante de otro.

Aunque el tipo de tránsito más conocido, por su espectacularidad, es el eclipse solar producido cuando la Luna cubre el disco solar, también los satélites efectúan tránsitos sobre el disco del planeta, tal cual se ha conocido en el caso de los satélites de Júpiter.

Mercurio y Venus que son los planetas que nos preceden (planetas interiores), ofrecen tránsitos de extrema importancia por haber ayudado a calcular las dimensiones del sistema solar, entre ellas la Unidad Astronómica UA, que es aproximadamente la distancia media Tierra Sol, y cuyo valor determinado por la Unión Astronómica Internacional (2012) es 149 597 870 700 m.

Véanse los métodos para el citado cálculo, basado en la medida de paralaje, la comparación de los diámetros aparentes, entre otros, en <http://astroaula.net/recursos-didacticos/actividades/transito-de-venus/>

#### **A- Tránsito de Venus del 8-06-2004.**

El tránsito de Venus sobre el disco del sol del 8 de junio, es sin duda alguna el fenómeno más esperado que ofrece las efemérides de 2004, por su rara ocurrencia, lo que le da el interés histórico del caso. El fenómeno de unas seis horas de duración, comenzará hacia la media noche de Colombia y finalizará en la mañana del día martes 8, día en el cual el planeta pasará de “lucero” vespertino, a matutino.

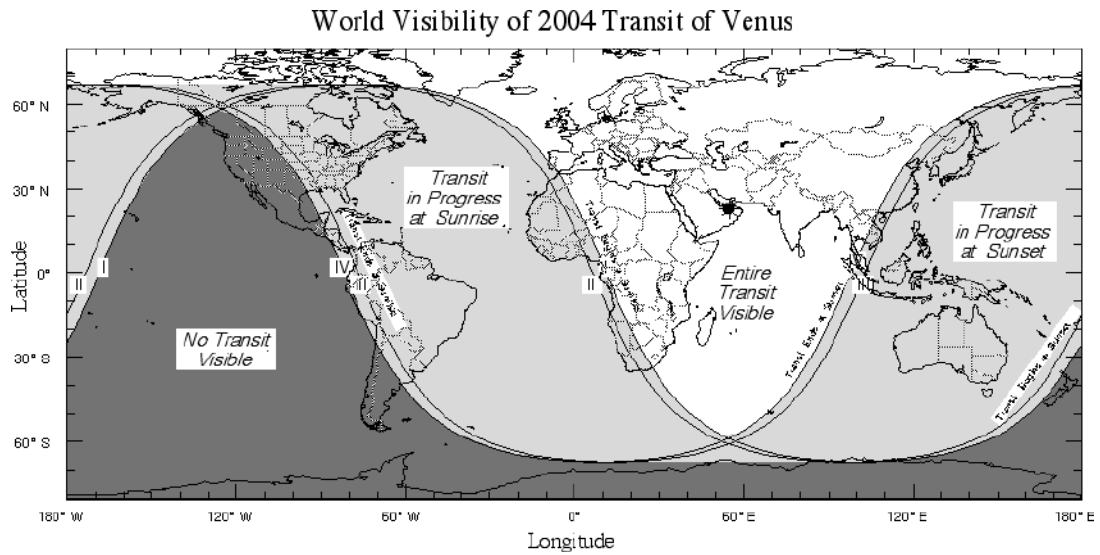


Figura 3.11. Mapa para el tránsito de Venus del 8/06/2004: zonas de visibilidad para el fenómeno astronómico, según NASA

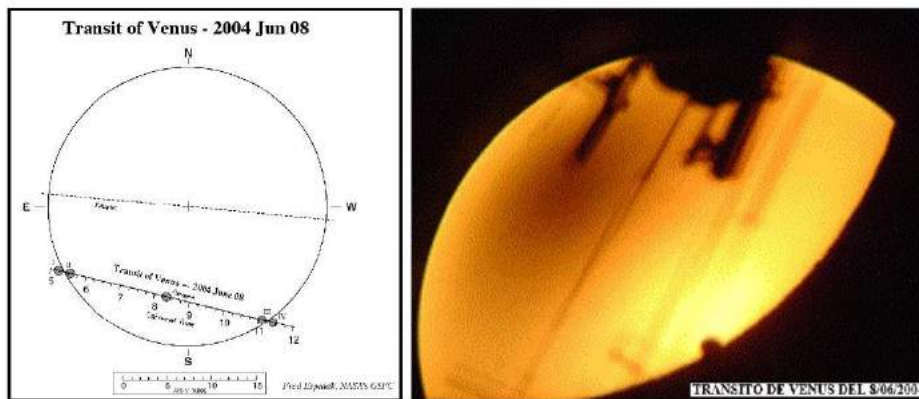


Figura 3.12. Tránsito de Venus del 2004: imagen de NASA y Fotografía desde el OAM de la UN

Desde Colombia, no serán visibles los primeros contactos, pero sí la fase final del evento, observable a la salida del Sol. El momento central del tránsito se producirá alrededor de las 3:19 de la madrugada, hora local. Venus presentará un diámetro aparente de 58 segundos de arco, tamaño no despreciable equivalente a 1/30 del diámetro solar o de la Luna.

Para observarlo se recomienda tomar las precauciones necesarias. Observar el Sol con un instrumento sin tomarlas, puede significar daños irreversibles por quemadura de la retina.

- Fases Geocéntricas del tránsito (tomadas de <http://www.roa.es>):

Venus en el cenit: UT P Longitud y Latitud

Primer contacto exterior 5h 13m 32s 116° .3 101° .6 E 22° .8 N

Primer contacto interior 5 32 49 119° .4 96° .8 E 22° .8 N

Mínima distancia de los centros 8 19 43 54° .9 E 22° .7 N

Segundo contacto interior 11 6 37 213° .2 13° .0 E 22° .7 N

Segundo contacto exterior 11 25 53 216° .3 8° .1 E 22° .7 N

Circunstancias locales para Bogotá, según <http://www.roa.es> :

Primer contacto exterior: No visible.

Primer Contacto interior: No visible.

Último contacto interior 11:10:20.9 TU.

Último contacto exterior 11:29:55.8 TU

Desde el OAM, Ed. Circular RAC 280 del 4/06/2004.

**B- Tránsito de Mercurio del 9-05-2016.**



Figura 3.13. Tránsito de Mercurio desde el OAM

El 9 de mayo de 2016 se pudo ver desde Colombia un tránsito de Mercurio, cuando este planeta entró a su Conjunción Inferior. Este tránsito comenzó a las 6:12 y acabó a las 13:40, hora local.



Figura 3.14. Zonas de observación del Tránsito de Mercurio 9-05-2016: A, de visibilidad total; B y C, de visibilidad parcial; en D, no es visible. Imagen, en infobservador.com



Un tránsito que es el paso de un planeta o de cualquier otro astro por delante del Sol, ocurre en el caso de los planetas, sólo con Mercurio y con Venus, cuando estos cuerpos celestes estén cerca de la línea de los Nodos, que es la intersección de sus respectivos planos orbitales con la eclíptica, poniéndose de cara a la Tierra.

Mercurio, que con Venus es uno de los planetas interiores del Sistema Solar y cuyo perihelio está ubicado a 0,308 UA y el afelio a 0,467 UA del Sol, en esta fecha se alineó entre y este y la Tierra quedando completamente alineados.

El último tránsito de Mercurio tuvo lugar hace diez años. Los próximos se producirán en noviembre de 2019, noviembre de 2032 y mayo de 2049. Los tránsitos de Mercurio no se deben ver a simple vista; para hacerlo es necesario un telescopio equipado de un filtro solar homologado para su observación, o en su defecto empleando métodos de observación indirectos.

**3.10. AGENDA DE ECLIPSES DEL 2019 Y 2020.**

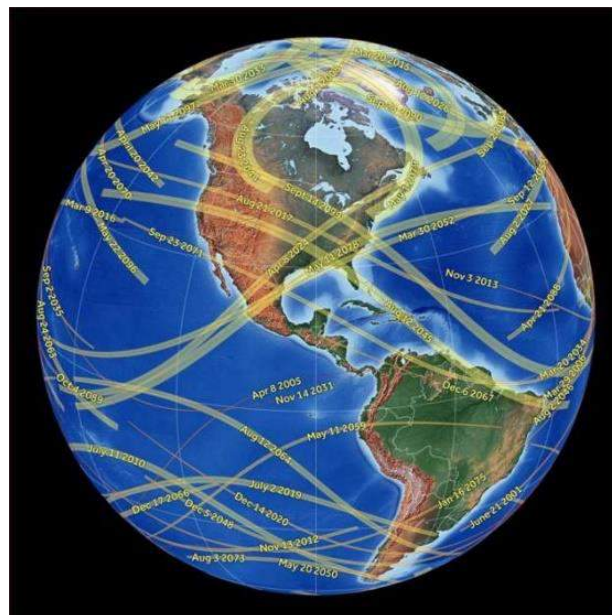


Figura 3.15: Eclipses Totales de Sol del Siglo XXI (Prof. Hebert Pistón Rodríguez).

Para que un eclipse se produzca, Sol, Tierra y Luna deben estar alineados o casi alineados, y por lo tanto en fase de Luna Llena (luna en oposición) para el eclipse de Luna, o de Luna nueva (Luna en conjunción) para el eclipse de Sol. Siempre y cuando la posición geométrica de los tres astros resulte conveniente, dado que las órbitas de la Luna y la Tierra no son coplanares. Esto significa que el eclipse se da en vecindades de los Nodos ascendente y descendente.

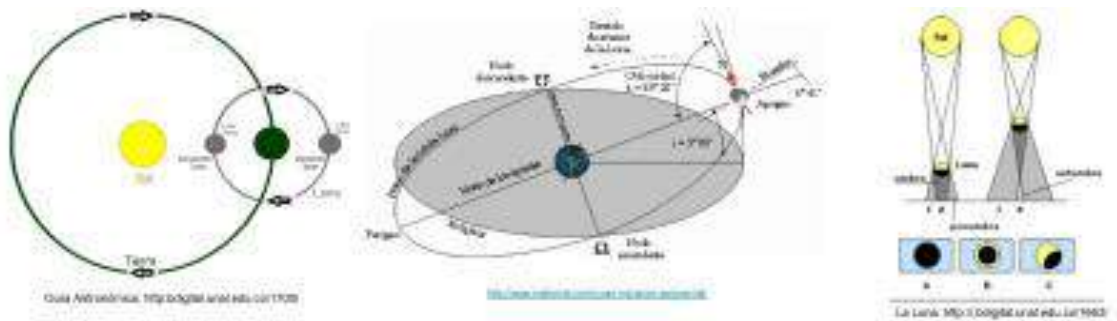


Figura 3.16: Eclipses: Diagramas explicativos.

Dado que el plano orbital de la Luna está inclinada  $5^{\circ}08'$  respecto al plano orbital de la Tierra (Eclíptica), no podemos tener eclipses sucesivos cada 15 días, es decir, un eclipse en cada oposición o conjunción. Se requiere que la sombra de la Tierra se proyecte sobre la Luna eclipsándola, o que la sombra de la Luna se proyecte sobre la Tierra eclipsando al Sol, lo que supone una interferencia parcial o total de la imagen de la Luna o del Sol, vistos desde la Tierra en cada caso.

El Ciclo de Saros probablemente descubierto por el astrónomo caldeo Beroso (350-270 a. C.), contempla un período de 18 años y 11 días, o 223 meses sinódicos (Lunas Nuevas o Llenas), durante el cual se presenta en promedio 42 eclipses de Sol y 42 de Luna. Los de Sol serían 14 parciales y 28 centrales (totales, anulares o mixtos), mientras los de Luna, 14 penumbrales, 14 parciales y 14 totales.

**Ejemplos de eclipses:**

....

En 2019 tendremos, además del tránsito planetario de Mercurio en Noviembre 11 a las 15:20 de Tiempo Universal TU, 5 eclipses: 2 lunares y 3 solares, **y para el 2020, que abre con un eclipse penumbral de Luna** 10 de enero – fenómeno que suele producirse en promedio dos veces al año, - habrá cuatro eclipses lunares penumbrales y dos solares más, Este es el calendario

Estos son los calendarios:

A\_ 2019:

- § ·Eclipse Parcial de Sol 6 de Enero de 2019.
- § ·Eclipse Total de Luna 21 de Enero de 2019.
- § ·Eclipse Total de Sol 2 de Julio de 2019.
- § ·Eclipse Parcial de la Luna 16 de Julio de 2019.
- § . Eclipse Anular del Sol 26 de Diciembre de 2019.

B\_ 2020:

- § ·Eclipse lunar penumbral del 10 de enero 2020.
- § ·Eclipse lunar penumbral del 5 de junio 2020.
- § ·Eclipse solar anular del 21 de junio 2020
- § ·Eclipse lunar penumbral del 5 de julio de 2020.
- § ·Eclipse lunar penumbral del 30 de noviembre de 2020.
- § ·Eclipse total de sol del 14 de diciembre 2020..

...  
Veamos uno parcial de Luna de 2019 y otro Total de Sol del 2020, como ejemplos

**Eclipse Parcial de la Luna 16 de Julio de 2019.**

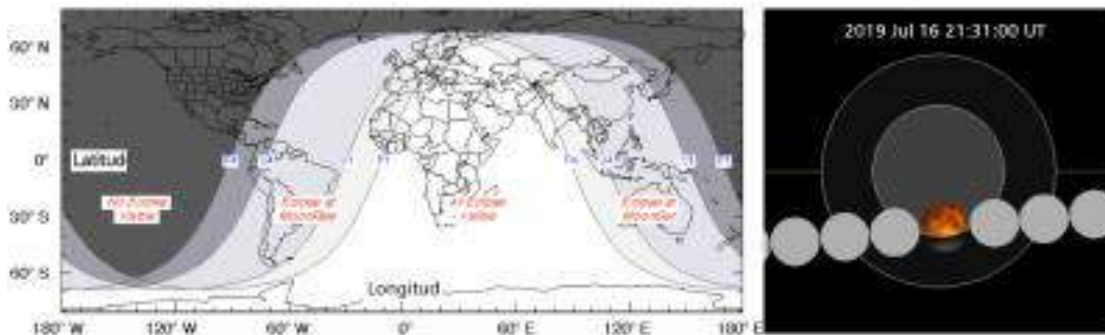


Figura 3.17. Eclipse Parcial de la Luna 16 de Julio de 2019. Mapa de Visibilidad y diagrama de la Luna interfiriendo la sombra de la Tierra, durante el eclipse del 16-07-2019. Fuente: <https://es.wikipedia.org>

...  
El mapa adjunto ilustra con color blanco regiones desde las cuales es visible el eclipse, en gris, las de no visibilidad, y en celeste las regiones que podrán ver el eclipse durante la salida o puesta de la Luna.

...  
Los tiempos para Colombia en hora local, cuando se produce eclipse parcial son, a su las 15h 02 m, y al finalizar, las 18h 00m. Esto supone no existe posibilidad de ver el fenómeno, pero si el efecto de la luna en la penumbra de la tierra. Ya que esta fase culmina a las 19h 18m hora de Bogotá.

**Eclipse Total de Sol del 14 de diciembre 2020:**

### Total Solar Eclipse of 2020 Dec 14

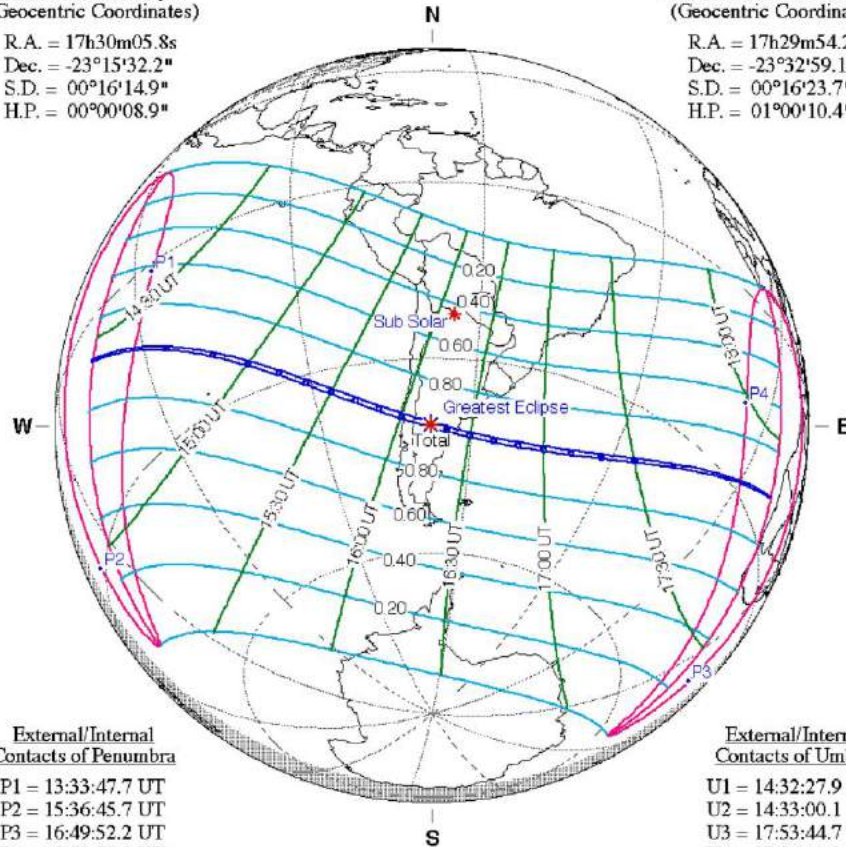
Geocentric Conjunction = 16:18:05.4 UT    J.D. = 2459198.179230  
 Greatest Eclipse = 16:13:22.9 UT    J.D. = 2459198.175959  
 Eclipse Magnitude = 1.0254    Gamma = -0.2940  
 Saros Series = 142    Member = 23 of 72

**Sun at Greatest Eclipse**  
(Geocentric Coordinates)

R.A. = 17h30m05.8s  
 Dec. = -23°15'32.2"  
 S.D. = 00°16'14.9"  
 H.P. = 00°00'08.9"

**Moon at Greatest Eclipse**  
(Geocentric Coordinates)

R.A. = 17h29m54.2s  
 Dec. = -23°32'59.1"  
 S.D. = 00°16'23.7"  
 H.P. = 01°00'10.4"



**External/Internal Contacts of Penumbra**

P1 = 13:33:47.7 UT  
 P2 = 15:36:45.7 UT  
 P3 = 16:49:52.2 UT  
 P4 = 18:52:59.8 UT

**External/Internal Contacts of Umbra**

U1 = 14:32:27.9 UT  
 U2 = 14:33:00.1 UT  
 U3 = 17:53:44.7 UT  
 U4 = 17:54:12.9 UT

**Local Circumstances at Greatest Eclipse**

Lat. = 40°20.5'S    Sun Alt. = 72.7°  
 Long. = 067°56.1'W    Sun Azm. = 10.3°  
 Path Width = 90.2 km    Duration = 02m09.6s

**Ephemeris & Constants**

Eph. = Newcomb/ILE  
 $\Delta T = 77.7$  s  
 $k1 = 0.2724880$   
 $k2 = 0.2722810$   
 $\Delta b = 0.0''$      $\Delta l = 0.0''$

**Geocentric Libration**  
(Optical + Physical)

$l = 3.49^\circ$   
 $b = 0.41^\circ$   
 $c = 1.47^\circ$

Brown Lun. No. = 1212



F. Espenak, NASA's GSFC - Fri, Jul 2,  
[sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/eclipse.html](http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/eclipse.html)

Figura 3.18: Eclipse Total de Sol del 14 de Diciembre de 2020:

Evento visible en Perú, Bolivia, Chile, Argentina, Uruguay, Paraguay y océanos adyacente. La estrecha faja de la totalidad, unos 100 km de ancho, pasará por Chile y Argentina. Datos del evento: Fecha (UT) 2020-12-14. Hora (UT)

16:14:39 Latitud 40.3S Longitud 67.9W Gama -0.2939 Magnitud 1.0254 Saros 142 Alt. Sol 73 Azi. Sol 10 Duración 02m10s Recorrido (km) 90.

RECUERDE:

Nunca mirar al Sol de manera directa: la retina del ojo puede quemarse.  
Es peligroso usar binoculares así estén “equipados” para observar al Sol.  
Sólo se recomienda observar si se sabe cómo utilizar filtros certificados.

...

Referencias:

Mapas incorporados: para eclipses de Sol, <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/solar.html> y para eclipses de Luna, <https://es.wikipedia.org/>

...

**3.11. LA ESTRELLA DE BELÉN 2020**

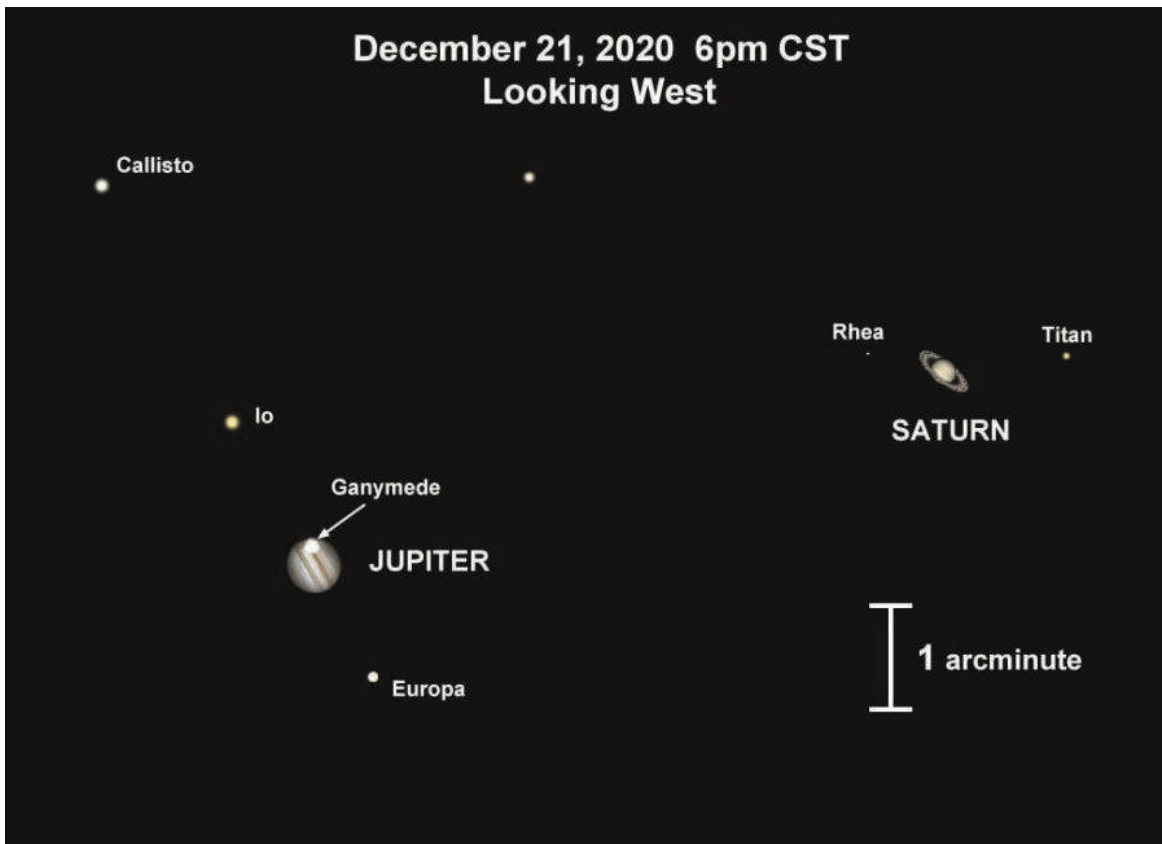


Figura 3.19. La Estrella de Belén: una conjunción planetaria: posiciones aparentes de Júpiter y Saturno para diciembre 21 de 2020, en <https://www.perfil.com/>

Aunque esta conjunción de Júpiter y Saturno cuyos periodos orbitales son de 12 y 29,5 años se da cada 20 años, cuando vistos desde la Tierra Júpiter alcanza a Saturno, para la fecha a las 6:20 PM estarán tan cercanos en el cielo, como no ocurría desde hace 800 años mostrándose como un solo astro al ojo humano. Si fuese el caso de Júpiter y

## U.N. de Colombia

## GUÍA ASTRONÓMICA

Venus tal cual ocurrió en abril de 2015 y Junio de 2015, aunque separados varios grados, el fenómeno se hace más espectacular dado que vistos desde la Tierra Venus es unas 8 veces mas brillante que Júpiter.

Mire al caer el Sol 20 grados sobre el horizonte y al poniente, dicha conjunción de los dos mayores planetas del Sistema Solar, Júpiter (color blanco intenso) y Saturno (color amarillento menos brillante) ambos separados en el cielo 1/5 de diámetro solar (6 minutos de arco). Como referente el ojo tiene un límite de resolución de 20 segundos de arco.

El evento astronómico por el alineamiento de Júpiter y Saturno, que se puede observar con binoculares, y que se transmitirá hoy lunes 21/12/2020 de 5 a 7 PM por <https://tinyurl.com/ColombiaOAE>, será visible unos días más, y será la conjunción Júpiter/Saturno más compacta desde 1623; la próxima ocurrirá en 2080.

### Lecturas complementarias N°3:

<p><u><a href="#">Aprendizajes en procesos participativos de reconversión productiva.</a></u></p> <p><u><a href="#">Área metropolitana de Manizales.</a></u></p> <p><u><a href="#">Bosques, Cumbre del Clima y ENSO.</a></u></p> <p><u><a href="#">Colombia Tropical ¿y el agua qué?</a></u></p> <p><u><a href="#">CTS, Economía y Territorio.</a></u></p> <p><u><a href="#">Economía colombiana: crisis y retos.</a></u></p> <p><u><a href="#">Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial.</a></u></p> <p><u><a href="#">Eje Cafetero: construcción social e histórica del territorio.</a></u></p> <p><u><a href="#">El desarrollo urbano y económico de Manizales.</a></u></p> <p><u><a href="#">El Río Cauca en el desarrollo de la región.</a></u></p> <p><u><a href="#">El territorio del río Grande de la Magdalena.</a></u></p> <p><u><a href="#">Elementos para la construcción de una visión del desarrollo de Caldas.</a></u></p> <p><u><a href="#">Fisiografía y geodinámica de los Andes de Colombia.</a></u></p> <p><u><a href="#">Fundamentos de economía y transportes.</a></u></p> <p><u><a href="#">Geomecánica.</a></u></p>	<p><u><a href="#">Acuerdo Climático: avance necesario pero insuficiente.</a></u></p> <p><u><a href="#">Aerocafé... cómo, qué y por qué</a></u></p> <p><u><a href="#">Agricultura sostenible: reconversión productiva en la cuenca del río San Francisco.</a></u></p> <p><u><a href="#">Agua y Clima en Colombia.</a></u></p> <p><u><a href="#">Aire urbano contaminado... ¿qué hacer?</a></u></p> <p><u><a href="#">Albert Einstein en los cien años de la Teoría de la Relatividad.</a></u></p> <p><u><a href="#">Amenaza para la Reserva de Río Blanco en Manizales.</a></u></p> <p><u><a href="#">América Latina: oportunidades en la economía del conocimiento.</a></u></p> <p><u><a href="#">Andén Pacífico Colombiano, ¿otro puerto?</a></u></p> <p><u><a href="#">Anotaciones a la navegación del Magdalena.</a></u></p> <p><u><a href="#">Antropoceno... ¿concepto cultural o geológico?</a></u></p> <p><u><a href="#">Árboles, poblaciones y ecosistemas.</a></u></p> <p><u><a href="#">Área Metropolitana de Manizales.</a></u></p> <p><u><a href="#">Arroyo Bruno, entre la muerte negra y la vida wayuu.</a></u></p> <p><u><a href="#">Aspectos geofísicos de los Andes de Colombia. Astronomía en la Edad Media y el Renacimiento.</a></u></p>	<p><u><a href="#">La economía en la era del conocimiento.</a></u></p> <p><u><a href="#">Legalidad y sostenibilidad de la guadua en la ecorregión cafetera.</a></u></p> <p><u><a href="#">Manizales: El futuro de la ciudad.</a></u></p> <p><u><a href="#">Manual de geología para ingenieros.</a></u></p> <p><u><a href="#">Medalla Alfonso Carvajal Escobar otorgada por la SCIA.</a></u></p> <p><u><a href="#">Más espacio y oportunidades para el ciudadano.</a></u></p> <p><u><a href="#">Noroccidente de Caldas: un territorio forjado en Oro, Panela y Café.</a></u></p> <p><u><a href="#">Paisaje y región en la Tierra del Café.</a></u></p> <p><u><a href="#">Plataformas Logísticas y Transporte Intermodal en Colombia.</a></u></p> <p><u><a href="#">Preservación Ambiental e Hídrica dentro de la Declaratoria del PCCC.</a></u></p> <p><u><a href="#">Procesos de Control y Vigilancia Forestal en la Región Pacífica y parte de la Región Andina de Colombia.</a></u></p> <p><u><a href="#">Río Blanco, cuna de vida...</a></u></p> <p><u><a href="#">Temas cívicos para agendas de desarrollo regional.</a></u></p>
--	---	---

...

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
COLOMBIA (1867-2017)**



**GUÍA ASTRONÓMICA**

**Gonzalo Duque-Escobar**

**MANIZALES, 2020**

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3252>

Anexo 1: Colombia tropical: ¿y el agua qué?.	Anexo 12: La Luna
Anexo 2: Calentamiento global en Colombia	Anexo 13: Cultura y Astronomía (C&A)
Anexo 3: Aspectos geofísicos y amenazas naturales en los Andes de Colombia.	Anexo 14: Astronomía en La Edad Media y el Renacimiento.
Anexo 4: El camino a las estrellas.	Anexo 15: Sol, lunas y planetas.
Anexo 5: Isaac Newton	Anexo 16: Manual de geología para ingenieros
Anexo 6: Albert Einstein.	Anexo 17: Riesgo sísmico: los terremotos.
Anexo 7: Stephen Hawking	Anexo 18: CTS, Economía y Territorio.
Anexo 8: Geotecnia para el trópico andino.	Anexo 19: Cultura y Turismo en Caldas.
Anexo 9: Preservación Ambiental e Hídrica del Paisaje Cultural Cafetero.	Anexo.20: El Río Cauca y el desarrollo de la región.
Anexo 10: Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial.	Anexo 21: Videos: Temas de Astronomía y Medio Ambiente.
Anexo 11: Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia.	Anexo.22: UMBRA: la Ecorregión Cafetera en los Mundos de Samoga.

Enlaces U.N.: Textos “verdes”

El Autor: **Gonzalo Duque-Escobar**

**HOME:**

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3252>

CONTENIDO: PRESENTACIÓN. GUÍA Nº 1. HISTORIA DE LA ASTRONOMÍA. GUÍA Nº 2. COORDENADAS ASTRONÓMICAS. GUÍA Nº 3. ELEMENTOS DE MECÁNICA PLANETARIA. GUÍA Nº 4. TIEMPO Y CALENDARIOS. GUÍA Nº 5. EL SISTEMA SOLAR. GUÍA Nº 6. SOL, LUNAS Y PLANETAS. GUÍA Nº 7. COSMOGRAFÍA. GUÍA Nº 8. ELEMENTOS DE ASTROFÍSICA. GUÍA Nº 9. LAS ESTRELLAS. GUÍA Nº 10. LAS GALAXIAS. GUÍA Nº 11. EL UNIVERSO. GUÍA Nº 12. TEORÍAS COSMOGÓNICAS. GUÍA Nº 13. ASTRONOMÍA EN COLOMBIA. BIBLIOGRAFÍA

**A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.**



	<p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA (1867-2017)</p>
	<p><b>GUÍA ASTRONÓMICA</b></p>
	<p>Gonzalo Duque-Escobar</p>
	<p><b>GUÍA N° 4</b></p>
	<p><b>TIEMPO Y CALENDARIOS</b></p>
	<p>Ocultación de Saturno, por la Luna. Martínez (Astronomical Society of Kansas City)</p>

#### 4.1. EL TIEMPO

Definía Newton el tiempo absoluto, verdadero y matemático, por sí sólo, como algo que debido a su naturaleza fluye de manera regular, e independiente de cualquier relación con el exterior. Pero hoy se sabe que el tiempo no es absoluto. Según la teoría restringida de la relatividad, las medidas del tiempo dependen del estado de movimiento del observador y tiempo es la cuarta dimensión de las coordenadas espaciales en el continuo espacio-tiempo.

Tampoco es una sustancia que fluye regularmente, sin relación con nada exterior, pues según la teoría general de la relatividad, los campos de gravedad intensa, al deformar el espacio tiempo, advierten de qué manera la materia crea unos campos gravitatorios que **dilatan el tiempo**.



Si **fluyera** el tiempo, no podría éste medirse experimentalmente. El desplazamiento del presente, del pasado al futuro, parece mantener un carácter subjetivo. Vemos cómo la física se ocupa de **intervalos** de tiempo, sin llevar a las ecuaciones matemáticas el momento presente. No obstante, podemos decir que el tiempo si tiene una flecha o una dirección, al desplazarse hacia adelante, a una rata de un segundo por segundo (sin que haya virtud aclaratoria adicional).

La irregularidad, que se le niega poseer, no podría tampoco ser objeto de determinación, por no existir método alguno que nos permita medir una eventual irregularidad. Queda así entonces establecido que las determinadas flechas del tiempo no tienen que ver con un flujo. Sólo que el mundo no es simétrico desde el punto de vista temporal.

Planteadas estas dificultades en el tiempo newtoniano, ¿cómo se ha de definir el tiempo? no se puede decir que sea algo que define el **orden temporal** de los acontecimientos.

Con omisión de las implicaciones del término temporal, aparece la dificultad de que el orden de los acontecimientos también es **relativo**, por depender de la posición del observador. Al explotar dos estrellas, veremos primero la luz que primero llegue a nuestros ojos, independiente de cual acontecimiento haya sucedido primero: si ocurrieran en el mismo instante los eventos, de estar equidistantes las estrellas, la información la recibiría el observador simultáneamente, después de un lapso de tiempo; y si no son equidistantes, llegará primero la información de la estrella más próxima, pues la luz de la segunda tendrá una distancia adicional que recorrer. Puede ocurrir, en el segundo caso que, explotando primero la estrella más lejana, la luz de ambas llegue simultáneamente al observador, y este erróneamente, suponga los eventos en el mismo orden cronológico.

Por eso es conveniente considerar el tiempo a la luz de la teoría general de la relatividad, para verlo como un

elemento geométrico del **espacio tiempo tetradimensional**. Nadie sabrá si este concepto tendrá sentido alguno cuando se entra a la región de Planck. Pues a la escala de  $10^{-43}$  segundos o menos, pudiera el tiempo dejar de existir, o estaría constituido por las partículas llamadas "**cronos**". Es que de pronto el tiempo tampoco tiene una estructura continua y uniforme, es decir, discreta y posiblemente sus partículas constituyentes no se han podido detectar.

## 4.2. LAS FLECHAS DEL TIEMPO

La teoría general de la relatividad, que parece ofrecer la definición más completa, no nos ha aclarado la razón de las flechas del tiempo, ni la relación entre ellas.

Es la primera flecha la **termodinámica**, que anuncia la entropía creciente, de conformidad con la segunda ley de la termodinámica. Por ella el pasado y el futuro son diferentes, pues el universo viene de un estado más a uno menos ordenado; es la flecha más importante.

**La expansión** del universo es la segunda flecha; ofrece dudas en cuanto a su importancia fundamental, ni se sabe de su relación con la flecha termodinámica. Claro sí, que esta dinámica del universo en expansión, se conecta con las interacciones gravitatorias, pero no tenemos conocimiento para el cálculo de la entropía en un campo gravitatorio.

La tercera flecha del tiempo se relaciona con las partículas elementales. En la física nuclear se permiten reacciones en sentidos opuestos. Si puede darse cierto tipo de desintegración nuclear, también puede darse lo contrario. No obstante, existe una extraña excepción en una reacción entre partículas elementales. Se trata del **mesón neutro K o kaón**, que sí presenta una asimetría de tiempo.

El kaón es una subpartícula ligada a colisiones hiperenergéticas y no es un constituyente normal de la materia, ni desempeña papel alguno en la desintegración nuclear. Es inestable, desintegrándose de diferentes formas. Se transforma en tres piones, o en un pion, un positrón y un neutrino. Pero según las leyes de la física el kaón habrá de desintegrarse en tres partículas, pues de ser sólo dos, el proceso no sería reversible. En 1964 se observó que, a veces, sucede una desintegración en dos partículas, y esa es una flecha del tiempo, ya que se constituye en una asimetría.

La cuarta flecha es la **electromagnética**. Las ondas se propagan en el futuro, no en el pasado. Cuando se mira el Sol, han transcurrido ocho minutos entre la emisión y la recepción de su imagen, tiempo suficiente para que el astro cambie de posición. Así, todo lo que vemos, lo vemos en el pasado, en su pasada posición y estado.

La quinta flecha es la **sicológica**. Tan enigmática es que, algunos filósofos, han puesto en duda la existencia del tiempo. Según ella no recordamos el futuro.

### 4.3. UNA REFERENCIA EN EL CIELO

Es el punto Aries o punto Vernal, lugar de la eclíptica a partir del cual el Sol pasa del hemisferio sur celeste al hemisferio norte, lo que ocurre en el equinoccio de Marzo. Ver Figuras 2.2 y 4.4.

Recordemos que la órbita de la Tierra es elíptica, luego, por la segunda Ley de Kepler, la velocidad de traslación  $V$  es variable y por lo tanto el arco  $N$  es variable. Además, el eje de la tierra está inclinado y la órbita de la tierra es excéntrica, pero los solsticios no coinciden con el perigeo y el apogeo. De esto se desprende que la duración de los días solares sea en realidad variable: los días son más largos cuando la velocidad de traslación es mayor.

El **tiempo verdadero** se mide con relación al Sol. La vida civil está regida por este astro, por lo que las escalas de tiempo, en las que se determinan las fechas, se han elaborado con base en el movimiento aparente del Sol. El día solar es el tiempo que tarda la Tierra en dar una vuelta sobre su propio eje.

El **tiempo medio** se mide con el reloj respecto de un Sol hipotético, porque los días de tiempo verdadero tienen duración desigual. El tiempo verdadero lo da el reloj de Sol con la sombra y el tiempo solar medio lo da un reloj de pulso con su cronómetro.

Dicho de otra manera, al oír las 12 campanadas del medio día, el Sol debería estar cruzando nuestro meridiano celeste, pero no es así: algunos días del año el Sol camina más aprisa, mientras otros tardarán para llegar puntualmente sobre aquella posición. En consecuencia, podemos obtener el promedio de la duración de los días solares y hablar de un Sol ficticio, y evaluar los adelantos y retardos del Sol verdadero, respecto a él. Esas diferencias de tiempo que alcanzan valores del orden de las decenas de minutos, se muestran en la ecuación de tiempo.

Viendo la gráfica, **se acaba primero el día sideral que el día solar medio**. Para que termine el día solar, falta la rotación entre A y B, cuyo valor es aproximadamente  $1^\circ$ . Por tal circunstancia, el día solar dura 3 minutos 56,555 segundos de tiempo más que el día sideral. Acumulando estos valores, aparece en consecuencia el año bisiesto con lo cual nos empalmamos al año tropical, aunque no exactamente.

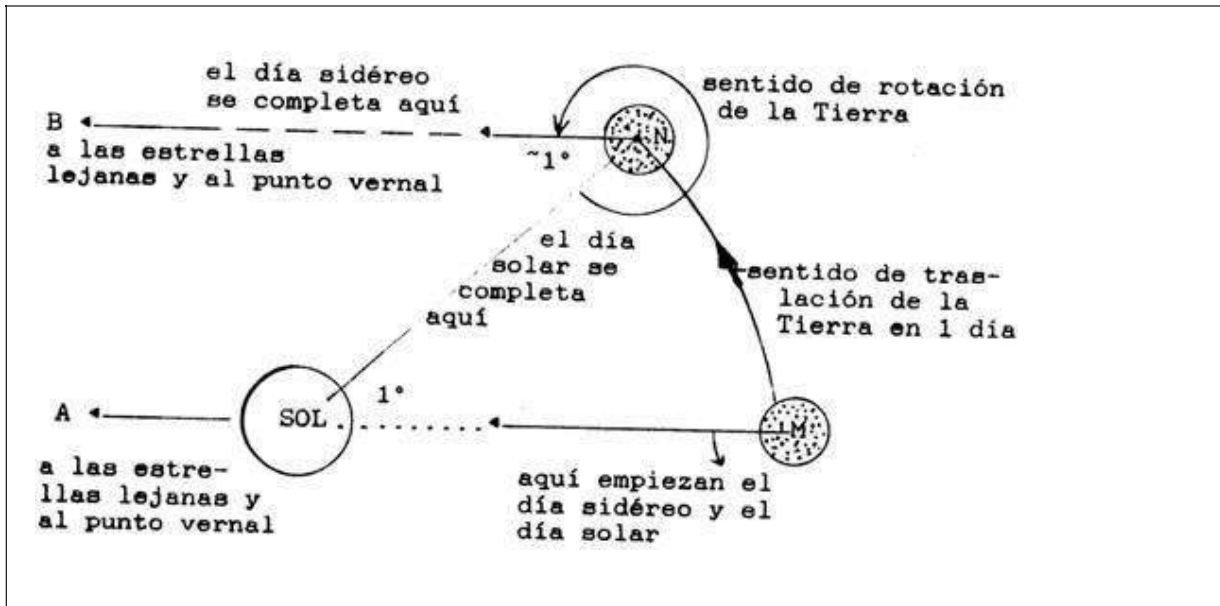


Figura 4.1 Día sidéreo y día solar: el día sidéreo es más corto que el día solar en casi un grado, puesto que, por la traslación, el Sol parece haberse quedado atrás respecto de las estrellas del fondo (A y B se encuentran en el infinito).

El **tiempo sidéreo** se mide con relación al punto vernal. Un día sidéreo vale  $365,2422/366,2422$  días solares medios. Pero esto supone dejar de lado ciertas irregularidades de la rotación terrestre y el movimiento del polo para poder medir el tiempo sidéreo con el ángulo horario del punto vernal desde una posición dada.

El **tiempo tropical** se mide con relación a las estrellas. Un año trópico vale  $3666,2422$  días solares medios o también  $3666,2422$  días siderales.

Se denomina **culminación superior** de un astro, al paso del astro por el punto más alto sobre el horizonte del observador.

El día sidéreo es el intervalo de tiempo entre dos culminaciones unívocas del punto vernal. El tiempo sidéreo se mide por el ángulo horario del punto vernal. El día solar verdadero, a diferencia del anterior, es el intervalo entre dos culminaciones superiores o inferiores consecutivas del Sol y, el tiempo solar verdadero se mide por el ángulo horario del Sol.

El inicio del día sidéreo es la culminación superior del punto vernal, mientras que el comienzo del día solar es la medianoche, por lo tanto, el tiempo solar es igual al ángulo horario del Sol más 12 horas. La duración del día solar verdadero, en el transcurso del año, varía a consecuencia de la velocidad no uniforme del Sol por la eclíptica y también por la inclinación entre la eclíptica y el ecuador celeste ( $23^{\circ} 27'$ ).

Por ello aparece un nuevo concepto: "**Día solar medio**". Utilizando un Sol medio imaginario que se mueve uniformemente por el ecuador celeste, realizando una vuelta completa durante un año tropical.

El **año sidéreo**, es el período necesario para que el Sol ocupe la misma posición en la órbita aparente respecto a una estrella fija, y equivale a 365,2564 días solares medios.

El **año tropical** es una revolución de la Tierra alrededor del Sol, hasta ubicarse nuevamente respecto de la misma estrella del fondo. Dicho año, es casi igual al año sidéreo, el que se toma con relación a  $\tau$ ; pero el punto vernal por el movimiento de precesión, modifica su posición respecto a las estrellas del fondo en  $50,26''$  por año.

El **tiempo solar medio** se mide por el ángulo horario del Sol medio. La duración de este día es constante. La ecuación de tiempo es igual al tiempo medio menos el tiempo verdadero y por lo tanto, será igual a la

ascensión recta del Sol verdadero menos la del Sol medio. Esas diferencias entre los tiempos medio y verdadero a lo largo del año se publican en las **efemérides** de cada año Calendario astronómico del año en curso.

Si llamamos  $m$  el tiempo solar medio,  $s$  el tiempo sidéreo y  $S_0$  el tiempo sidéreo a mediodía, expresado en  $m$  horas, la **conversión de un tiempo** sidéreo en intervalo de tiempo solar medio, se da por la fórmula:

$$S - S_0 = m + (3\text{min } 56 \text{ seg}) m / 24$$

**TU, TE, GMT Y TD.** En los observatorios hay generalmente un reloj que marca el tiempo sidéreo del lugar, con el fin de hacer las observaciones, tomando de partida el punto Aries. El tiempo sidéreo de **Greenwich** puede venir tabulado en los almanaques astronómicos, a fin de transformar el tiempo sidéreo local en éste último, según nuestra longitud astronómica. Otras escalas de tiempo, además del tiempo medio de Greenwich (GMT), son: el universal (TU), el de efemérides (TE) y dinámico (TD).

Se denomina **tiempo universal** el tiempo zonal del meridiano de Greenwich.

Pero hay defectos en la uniformidad de este tiempo basado en la rotación de la Tierra. Para uniformar la escala se recurre al tiempo newtoniano que se presenta en las efemérides, como tiempo de efemérides TE. Desde 1984 se utiliza el tiempo dinámico terrestre de gran utilidad en la mecánica celeste.

El tiempo de Greenwich es 12 horas inferior al TU; por lo tanto:

TU - GMT = 12 horas

#### 4.4. ECUACION DE TIEMPO

Se llama Ecuación de Tiempo a la expresión **W** que permite evaluar cada día los minutos que tarda o que se adelanta el Sol, en su paso por el meridiano, con relación al reloj: **m** es el tiempo del reloj de pulso con cronómetro y **v** el tiempo verdadero en el cual pasa el Sol obtenido con la sombra en un reloj de Sol. Se trata aquí de encontrar la ecuación de empalme entre los dos relojes.

Siendo **W** la diferencia entre el tiempo medio **m** y el verdadero **v**, tendremos que la diferencia es mayor a comienzos de noviembre, cuando el tiempo solar medio está a más de 16 minutos por detrás del tiempo solar aparente, y a mediados de febrero cuando el tiempo solar medio va más de 14 minutos por delante del tiempo solar aparente. Los dos son iguales cuatro veces al año, el 15 de abril, el 14 de junio, el 1° de septiembre y el 25 de diciembre.

Siendo la ecuación de tiempo, una función que puede representarse con  $W = m - v$ , tenemos en el siguiente diagrama el valor de **W en minutos, a lo largo del año** -ver la línea continua- cuya ordenada es la suma de las ordenadas de las funciones **m** y **v**:



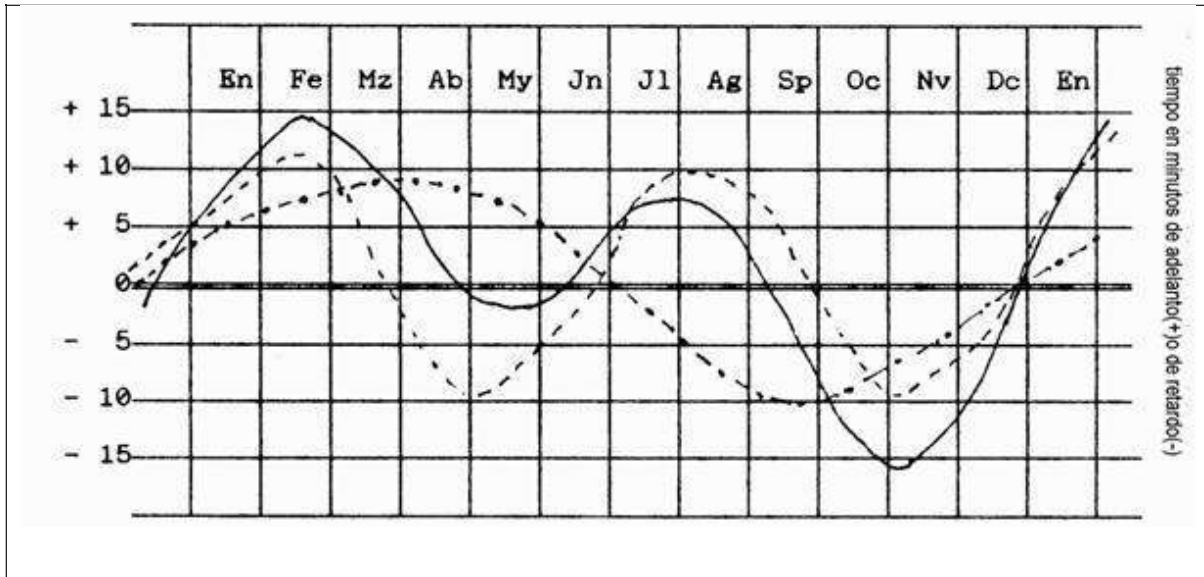


Figura 4.2 – A. La ecuación de tiempo: — Ecuación de Tiempo; --- Función de la inclinación de la eclíptica; ····· Función de la excentricidad de la órbita terrestre.

También se puede representar la ecuación de tiempo con la siguiente curva. En ella, “w” es la diferencia “v” menos “m”, por lo que los datos se ofrecen con signo contrario a los de la gráfica anterior. Se puede aproximar por la siguiente fórmula.

$$E = 9.87 \cdot \text{sen}(2B) - 7.53 \cdot \text{cos}(B) - 1.5 \cdot \text{sen}(B)$$

Donde:

$$B = 360 \cdot \frac{N - 81}{365}$$

N = día del año

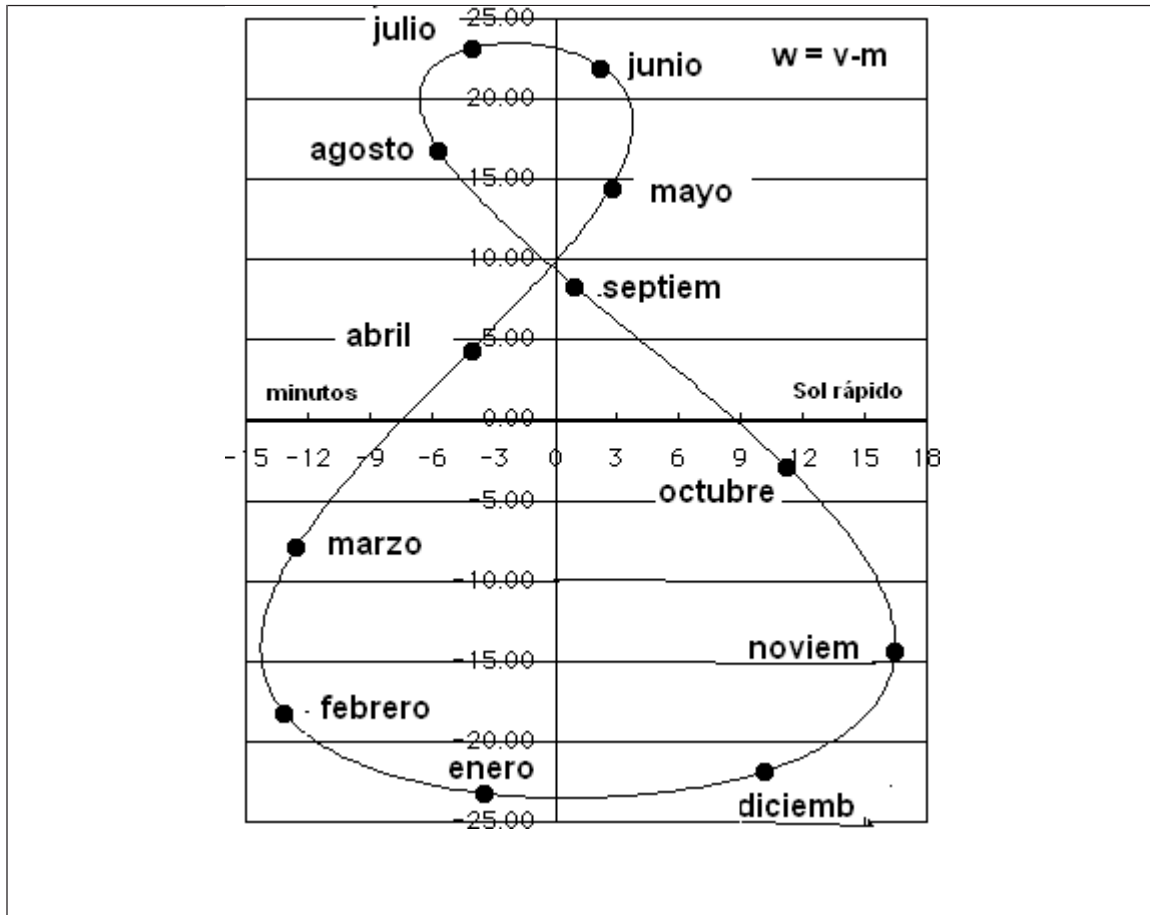


Figura 4.2 – B. Ecuación de tiempo: la función denominada ecuación de tiempo de la gráfica expresando de otra forma la diferencia del tiempo verdadero menos el tiempo medio. Adaptado de Diccionario Rioduero de la Física y el Espacio.

#### 4.5. CALENDARIOS

Antes de Galileo el concepto de tiempo que manejaba la humanidad, era el de un **tiempo discreto**: entre una y otra puesta del Sol se tenía el día, cada fase de la Luna daba la idea de una semana, entre una Luna nueva y la siguiente el lapso era un mes, entre una primavera y otra, o entre dos posiciones homólogas entre el Sol y una constelación, se tenía el año. Después de Galileo el tiempo se comprende como una **función continua**: la velocidad con la cual se desplazan los objetos y la aceleración como una variación de la velocidad, son dos magnitudes que suponen el transcurrir continuo del tiempo.

Nos ocuparemos aquí del tiempo en su primera versión. Esa dimensión siempre fue importante para el hombre que depende de los ciclos de la caza, la pesca y las cosechas de la tierra. También lo es hoy si comprendemos la ciudad, desde el punto de vista cosmológico, como el espacio reticulado controlado por la hora.

Los calendarios suelen ser solares, lunares y lunisolares, y sus bases son los siguientes períodos en días solares medios:

**Calendario solar:** basado en el movimiento anual de la Tierra alrededor del Sol.

**Calendario lunar:** basado en el ciclo de las fases de la Luna en el que 12 meses sinódicos constituyen un año lunar.

**Calendario Juliano:** iniciado en el año 46 a. C. por el emperador romano Julio César. Consistía en 365 días por año, con un día adicional añadido cada cuatro años. Esto daba una extensión media de 365.35 días, algo más que la duración del año tropical. Por esa razón el calendario juliano se iba desajustando lentamente de las estaciones.

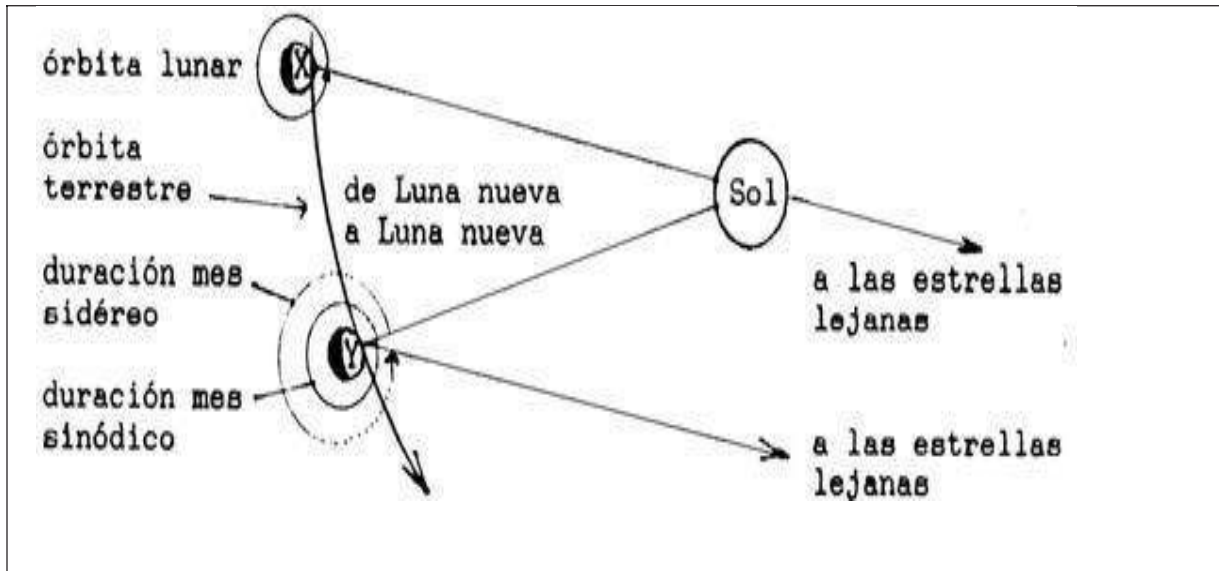


Figura 4.3. Mes sidéreo y mes sinódico: XY es el movimiento de la Tierra en un mes (entre dos lunaciones). El punto vernal casi se mantiene con las estrellas del fondo. Cada año sufre un pequeño desplazamiento de  $50''{,}26$  de arco debido a la precesión.

NOTA: la órbita de la Luna hace  $5^\circ$  con la eclíptica  $\sigma\sigma'$

**Calendario Gregoriano:** utilizado para la mayoría de los fines en el mundo, e iniciado por el papa Gregorio XIII en 1582. La regla del calendario juliano para fijar los años bisiestos (según la cual había que intercalar un día adicional cada cuatro años), fue modificada en el sentido de considerar años bisiestos, de 366 d, todos aquellos años cuyas dos últimas cifras fuesen exactamente divisibles por 4, pero conservando como años comunes, de 365 días, aquellos años que, siendo un número entero de centenas, no son divisibles por 400, por ejemplo: 1700, 1800, 1900, etc. si el año es múltiplo de 400 es bisiesto, por ejemplo: 1600, 2000, 2400.

Así, la duración en días del año y el mes, según sean estos, es de así:

- El año gregoriano tiene una duración media de 365,2425 días.

- Año tropical = 365 d 5 h 48 m 46 seg. o 365,24220 días solares medios
- Mes sinódico = 29 d 12 h 44 m 3 seg. o 29,53059 días solares medios
- El mes sinódico dura más que el mes sidéreo, (27,3217 d sm).
- El año tropical es ligeramente más corto que el año sidéreo por la precesión del punto vernal hacia el Sol (de B a A); pero se pueden asumir iguales dada la insignificante diferencia de tiempo.
- El mes anómalo es el tiempo que tarda la Luna entre dos perigeos. Ella recorre su órbita en 27,3216 días solares medios.
- El año anómalo es el tiempo que tarda la Tierra entre dos perihelios consecutivos, es decir, lo que demora la Tierra para recorrer su órbita. Es más largo que el año sideral porque dura 365,2596 días solares medios contra 365,2564 días del año sideral.
- Año lunar: duración de 12 meses sinódicos o 354 días solares medios. El año solar es igual al año tropical.
- Mes dracónico: período transcurrido entre dos pasos de la Luna por el nodo ascendente de 27,2122 días solares medios. Los nodos lunares tienen una regresión de 19° cada año; su órbita hace 5° con  $\sigma$ .

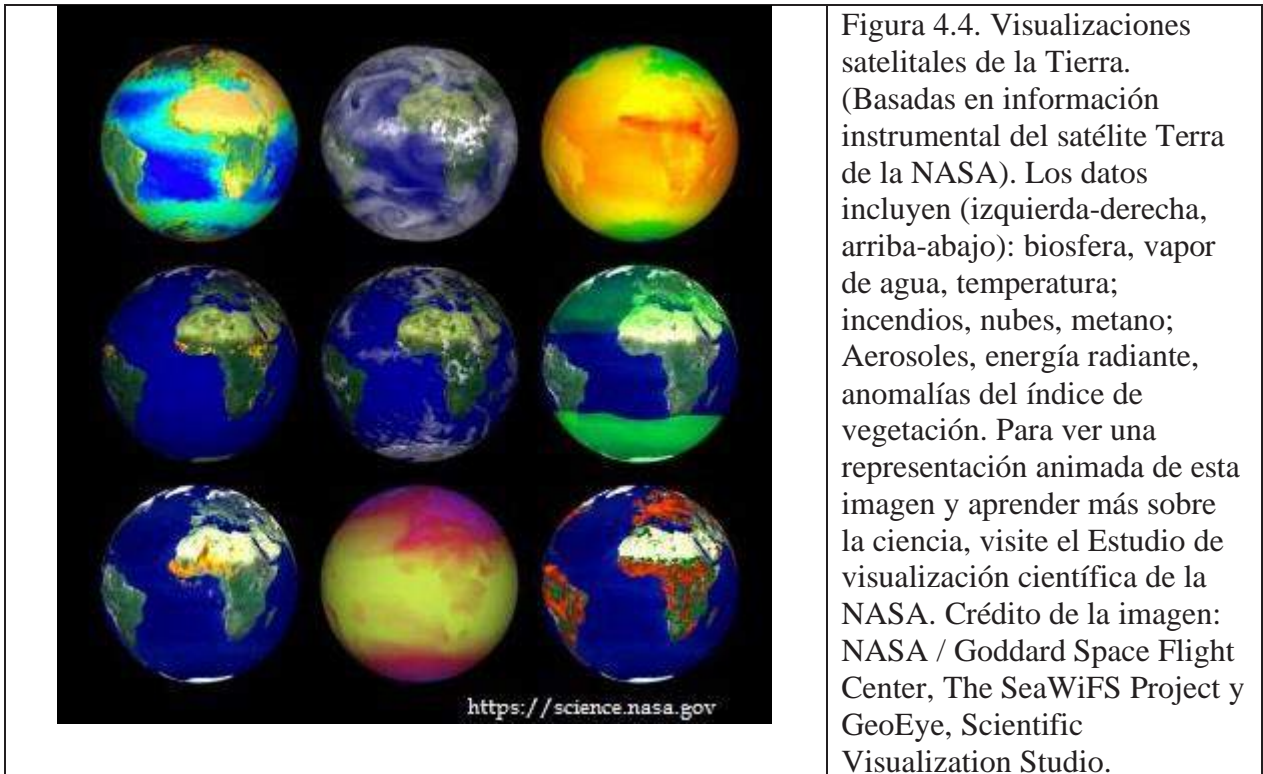
**4.6. PERIODO ENTRE DOS CONFIGURACIONES HOMONIMAS**

A veces queremos saber cuándo vuelven a alinearse los planetas o a repetirse los eclipses. El problema empieza por calcular el intervalo entre una y otra conjunción u oposición. Ese intervalo de tiempo es lo que se denomina revolución sinódica de un planeta.

$1/T = 1/S + 1/P$	$1/S = 1/P + 1/T$
planeta superior	planeta inferior

- S = período sidéreo u orbital de un planeta alrededor del Sol
- T = duración de un año, en la Tierra (en las mismas unidades de S y P).
- P = intervalo de tiempo entre dos configuraciones homónimas del planeta (período sinódico)

#### 4.7. CICLOS NOTABLES Y MOVIMIENTOS DE LA TIERRA Y LA LUNA



**Ciclo de Saros:** se denomina al período de  $6585 \frac{1}{3}$  días (18 años,  $11 \frac{1}{3}$  días); es el intervalo de tiempo de 242 meses dracónicos, después de cuyo transcurso la Luna vuelve a adoptar la misma posición respecto del Sol, la Tierra y la línea nodal, de forma que los eclipses de Sol y de Luna vuelven a repetirse con el mismo ciclo. En la antigüedad se empleó para predecir eclipses (ver Historia de la Astronomía).

**Ciclo Juliano:** intervalo de tiempo de 28 años, en el que después de su transcurso, los días de la semana vuelven a caer en el mismo día del mes del calendario juliano.

**Ciclo Metónico:** se conoce como ciclo lunar. Es el intervalo de tiempo de 6140 días, iguales a 19 años solares, que son aproximadamente 235 meses lunares sinódicos (125 meses de 30 días, 110 de 29 días). Este ciclo reconocido por Meton el año 32 a.C.; es fundamento del calendario lunisolar griego.

**Los movimientos de la Tierra.** Aunque son populares la Rotación, Traslación como causa del día y el año y en menor grado la los movimientos de Precesión y Nutación, también se ha encontrado un quinto movimiento que de bamboleo del eje polar. Estos son en consecuencia los cinco movimientos de la Tierra:

El de **Rotación**, consistente en un giro sobre su propio eje y en dirección oeste-este, cuyo período es de 23 h 56 m 4 s; por él se explica el intercambio del día y la noche. El de **Traslación**, por el que describe la órbita alrededor del Sol en 356 d 5 h 48 m y 46 s, recorriendo 936 millones de Km a una velocidad de 29,8 k/s; en el afelio, a comienzos de julio la distancia Tierra-Sol es 152 millones de Km y en el perihelio de 147 millones de Km.

El de **Precesión**, consistente en un movimiento de peonza, en el que el eje polar o de rotación, por su oblicuidad de  $23^{\circ} 27'$  describe un cono circular en un lapso de 25800 años; la precesión se debe a las fuerzas gravitacionales del sistema Sol-Luna, y a la forma elipsoidal de la Tierra.

El movimiento de **Nutación** provocado por el efecto gravitatorio de la Luna, consistente en un cimbreo del eje polar, que se da conforme describe el círculo de precesión, provocando picos de 700 metros respecto a la trayectoria circular. Dicho movimiento es cíclico, y cada episodio dura algo más de 18 años y medio. La nutación fue descubierta en 1728 por James Bradley, y dada a conocer en 1748.

**Finalmente, el Bamboleo de Chandler**, un movimiento descubierto en 1891 cuyo origen que no conoce, que produce una variación de 0,7 segundos de arco en el periodo de 433 días del eje giratorio de la Tierra,

ocasionando un giro circular de los polos geográficos terrestres, de entre 3 y 15 metros de diámetro.

En el año 2006, ocurrió algo que dejó atónitos a los científicos. Durante seis semanas este movimiento dejó de sucederse, para después volver a tener lugar. De la misma forma que no se sabe por qué ocurre, tampoco pudo conocerse la razón por la que se detuvo durante este tiempo

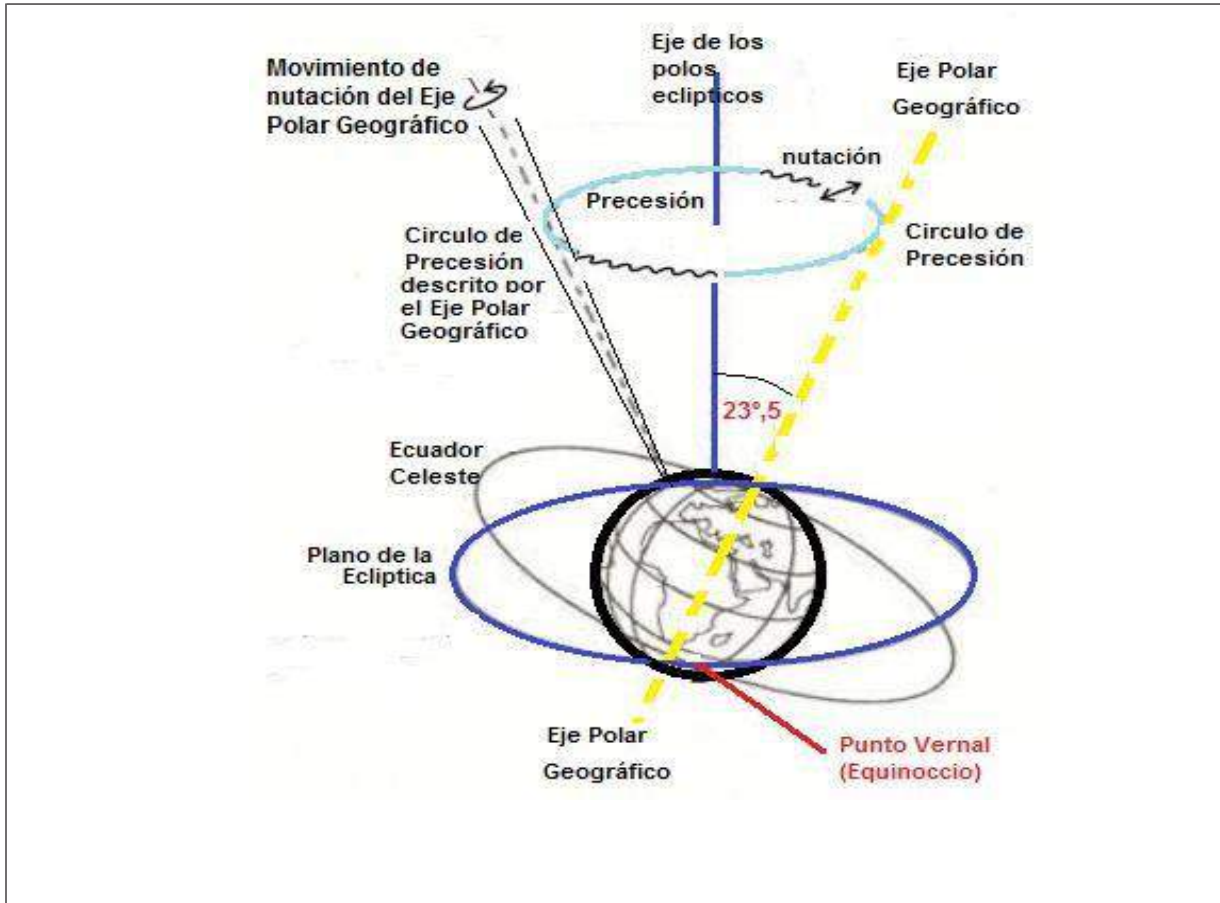


Figura 4.5 Precesión de los equinoccios: movimiento de peonza de la Tierra, a causa de la atracción lunisolar. Su período de 25800 años desplaza el punto vernal, entre constelaciones del zodiaco, a razón de 50",26 de arco por año, cada 2150 años-

NOTAS:

La precesión como efecto gravitacional del Sol y la Luna sobre el pliegue del ecuador terrestre rico en masa, intenta poner el eje terrestre perpendicular a la eclíptica. Por este movimiento del eje terrestre alrededor del



eje polar eclíptico ( $\pi\pi'$ ), el punto de primavera ( $\tau$ ) adelanta 50,26 segundos de arco al año. Los astrólogos denominan las eras, por la constelación sobre la cual se encuentre el punto vernal y cada una de ellas dura la doceava parte de 25800 años. Se trata de la variación espacial, en el tiempo de la intersección del ecuador celeste (QQ') con el plano de la eclíptica, y del cambio de estrella polar, que en época de las pirámides fue Thuban del Dragón.

La oblicuidad del eje terrestre, motiva el cambio de estaciones en el año: después de un otoño y un invierno, descansa la naturaleza y se suceden la primavera; después de una primavera y un verano, agotada la naturaleza, llega el otoño. Y respecto al Sistema Solar su traslación que es el movimiento del Sol en su órbita galáctica a una velocidad de 220 Km/s, tiene un período de 230 millones de años.

Debe advertirse que en tiempos geológicos varían la excentricidad de la órbita terrestre y la inclinación del eje polar.

### **Los movimientos de la Luna.**

Ella gira la Tierra de occidente a oriente, en un movimiento que permite distinguir dos períodos de revolución: el sidéreo, tomando como referencia una estrella, de 27 d 7 h 43 m y 11,47 s, y el sinódico, tomado con relación al Sol (llamado también lunación o mes lunar), de 12 h 44 m 2,78 s.

La rotación de la Luna sobre su eje tiene una duración igual al mes sidéreo, por lo que **siempre presenta la misma cara**. A pesar de ello, desde la Tierra se ve algo más de un hemisferio lunar (59% de su superficie), debido a unos balanceos aparentes llamados libraciones.

La Luna posee otros movimientos, como el retrógrado de los nodos, con una duración de 18,6 años, y el que afecta la línea de los ápsides. El primero origina la llamada revolución anomalística. El movimiento de precesión de los equinoccios da lugar a la revolución trópica.

**4.8- SIGNIFICADO DE UN BISIESTO**

En el calendario gregoriano solo existe el 29 de febrero en los años bisiestos, que son aquellos años múltiplos de 4, salvo los terminados en 00 no múltiplos de 400: lo fueron 2000 y 2016, y lo será el 2020, pero no el 2100.



Figura 4.6. Calendárica Azteca, y Calendarios Egipcio y Chino.

Estos años de 366 días introducidos por Julio César en el año 46 a.C. para cuadrar el calendario, fueron ajustados por el papa Gregorio XIII en 1582, dado que mientras la Tierra recorre su órbita en torno al Sol transcurren 365,242189 días. La complejidad de la fórmula calendárica, es consecuencia de esa fracción inferior a 1/4 de día para el ciclo completo del Sol transitando el zodiaco, que obliga a corregir cada cuatro años el desfase de 5 horas, 48 minutos y 45,10 segundos.

Ahora, si la rotación de la Tierra (día), la revolución de la Luna sobre la Tierra (mes) y el período de la Tierra en torno al Sol (año) son invariantes naturales, no lo es el sistema de numeración con base diez que interviene en la fórmula, ni la selección del primer año de nuestro calendario, que calculó mal el nacimiento de Jesús; entonces seguramente con otro sistema como el hexadecimal introducido en el ámbito de la computación o el vigesimal utilizado por los mayas, los años intercalares serían otros.

La creencia popular cargada de supersticiones que aseguran que los nacidos en bisiestos podrían poseer poderes sobrenaturales, argumentando hoy que tales años han coincidido con la muerte de personajes como Ghandi (1948), Luther King (1968) y John Lenon (1980), poco respaldo tiene en la ciencia ya que no solo han existido magnicidios en años no bisiestos, como los de Anwar el Sadat en 1981, Ernst Roehm en 1934, Yitzhak Rabin en 1995, el Che” Guevara en 1967 y Leon Trotsky en 1940, sino que en años bisiestos también se han dado noticias positivas sobresalientes que estarían confirmando la inexistencia de tendencia negativa alguna.

Ahora, veamos los grandes acontecimientos del siglo XX que niegan cualquier regla de fatalidad o fortuna, para un bisiesto: mientras lo fueron 1912 en que se hunde el Titanic y los años en que inicia La Guerra civil española (1936) y la Revolución Cubana (1956), el Descubrimiento de la Penicilina que resulta ser un hecho afortunado es del año bisiesto 1928; similarmente, la Revolución Mexicana abre en el año no bisiesto 1910 y cierra en el bisiesto 1920. Otros hechos notables del siglo XX, no guardan ninguna relación con dicha clase de años: la Teoría General de la Relatividad se crea en 1915 por Albert Einstein, La Revolución Rusa es de 1917, la Gran Depresión ocurre en el año 1929, la Segunda Guerra Mundial comienza en 1939 y termina en 1945, el Muro de Berlín se construye en 1961 y cae en 1989, el desastre de Armero ocurre en 1985, los atentados a las Torres Gemelas son del 2001, el Terremoto de Haití que cobra 316 000 vidas ocurre en 2010 y la Primavera Árabe se presenta entre 2010 y 2013.

Ahora, qué balance hacemos del 2016 para ver si es válida la premisa de que “en año bisiesto, año siniestro: no te cases”: en el deporte las noticias del año fueron el fatal accidente aéreo del Chapecoense, y los Olímpicos de Río por ser los primeros de la historia celebrados en Sur América; en la literatura fueron, la muerte de Humberto Eco y de Elie Wiesel, y el Nobel para el músico Bob Dylan; en la economía, destacaríamos la ampliación del Canal de Panamá y el referéndum en el Reino Unido; en medio ambiente, a pesar de los acuerdos internacionales sobre Cambio Climático COP, al no corregirse el insustentable modelo de desarrollo, seguiremos padeciendo sus consecuencias, tal cual ocurrió con el huracán Matthew y las sequías en Colombia; por sus protagonistas tuvimos la muerte de Fidel Castro o la canonización de la Madre Teresa de Calcuta, y por su dimensión política el Acuerdo colombiano para

el fin del conflicto con las FARC; en Astronomía el exitoso arribo de Juno a Júpiter, y las dificultades de ExoMars por el fatal descenso de Schiaparelli en el planeta rojo. Definitivamente, no se puede establecer un patrón. Feliz año nuevo 2017. [Ref.: La Patria. Manizales, 2017.01.02]

#### 4.9- EL REMOTO PASADO DE NUESTRO MUNDO.



Figura 4.7 Impacto en la Tierra primigenia: ilustración tomada del Museo Geológico Sernageomin de Chile, en [http://www.sernageomin.cl/Museo\\_Geologico](http://www.sernageomin.cl/Museo_Geologico)

Apreciado lector: ¿sabe Ud de qué tamaño es la edad del Universo y cuándo se formaron el Sol, la Luna y la Tierra? Mientras la Tierra tiene casi la edad del Sistema Solar, el Universo podría ser casi tres veces más antiguo, ya que su edad probable, la del Universo, es aproximadamente de unos 15000 millones de

años de acuerdo al ciclo del CNO, aunque existen teorías que hablan de 13700 y de 21000, millones de años, siendo más probable entre estas dos últimas la primera que se basa en la radiación remanente del Big Bang y se apoya mejor en la edad de los cúmulos globulares de estrellas.

Lo anterior sobre la edad del Universo es muy complejo, y es en sí uno de los problemas de la cosmología y de la astronomía observacional, y casi que la respuesta invita a responder: “eso depende”. Como ejemplo, la edad absoluta de los cúmulos globulares más viejos está en el rango de 11 mil a 21 mil millones de años, pero si se corrigen las distancias a dichos cuerpos, de conformidad con los valores actuales del satélite Hiparco, el rango pasa a ser de apenas 9 mil a 18 mil millones de años.

Ahora, hace unos 5000 millones de años aparece el Sistema Solar primitivo, y unos 4600 millones de años la Tierra primitiva y también la Luna. Son varias las teorías acerca del origen de la Luna. La última y la más aceptada, es la “teoría del gran impacto”, cuyos orígenes se remontan a mediados de la década de 1970. La teoría explica mejor las condiciones de inclinación orbital y de tamaños comparables de la Tierra y la Luna, como también las diferencias en las estructuras internas que muestran una Tierra con un núcleo metálico más grande que el de la Luna.

Incluso, los océanos tardaron cerca de mil millones de años para formarse y un poco más para formar la actual atmósfera gracias a la fotosíntesis y por lo tanto a la vida primogénita, ya que la atmósfera primitiva con un 70% de vapor de agua se asemejaba a las actuales emanaciones volcánicas; el de la actual es un 4%.

Un nuevo estudio financiado por NASA indica que la atmósfera primitiva con un 40% de hidrógeno ofrecía un medio más favorable para la producción de compuestos orgánicos prebióticos, lo que se aparta del modelo de atmósfera tipo Marte y Venus, rica en CO<sub>2</sub> y pobre en hidrógeno, y por lo tanto tan exigente en condiciones especiales para la vida como la de las fuentes termales, que obliga a considerar el aporte de moléculas orgánicas a partir de meteoritos.

## U.N. de Colombia

## GUÍA ASTRONÓMICA

Espero estas ideas den respuestas a interesantes preguntas relacionadas con “el remoto pasado de nuestro mundo”. [Ref.: La Patria. Manizales, 2017.01.02]

...

### Lecturas complementarias N°4:

<p><u><i>Colombia Tropical ¿y el agua qué?</i></u> <u><i>CTS, Economía y Territorio.</i></u></p> <p><u><i>Economía colombiana: crisis y retos.</i></u></p> <p><u><i>Geotecnia para el Trópico Andino.</i></u></p> <p><u><i>Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia.</i></u></p> <p><u><i>Gobernanza forestal para la ecorregión andina.</i></u></p> <p><u><i>Agua y clima en el desafío ambiental.</i></u></p> <p><u><i>Aguas subterráneas.</i></u></p> <p><u><i>Centenario “canalero”.</i></u></p> <p><u><i>Colombia Intermodal: Hidrovías y Trenes.</i></u></p> <p><u><i>Colombia geoestratégica.</i></u></p> <p><u><i>Colombia, país de humedales amenazados.</i></u></p> <p><u><i>Colombia Tropical ¿y el agua qué?</i></u> <u><i>Crisis y opciones en el Río Grande de Colombia.</i></u></p> <p><u><i>Cultura del agua en los ríos urbanos.</i></u></p> <p><u><i>El agua en Colombia: glosas.</i></u></p> <p><u><i>El agua en la biorregión caldense.</i></u></p> <p><u><i>El desastre del río Mira.</i></u></p> <p><u><i>El fantasma de la imprevisión.</i></u></p> <p><u><i>El por qué de los aguaceros en Colombia.</i></u></p> <p><u><i>El volcán y el desastre de Armero.</i></u></p> <p><u><i>Flujo de agua en el suelo.</i></u></p> <p><u><i>Hidro-Ituango: una lectura a la crisis.</i></u></p>	<p><u><i>Bosques, Cumbre del Clima y ENSO.</i></u></p> <p><u><i>Caldas en la biorregión cafetera.</i></u></p> <p><u><i>Cambio Climático en Caldas – Colombia.</i></u></p> <p><u><i>Cerro Bravo, tras trescientos años de calma volcánica.</i></u></p> <p><u><i>Clima: las heladas en Colombia.</i></u></p> <p><u><i>Colombia Intermodal: Hidrovías y Trenes.</i></u></p> <p><u><i>Colombia, país de humedales amenazados.</i></u></p> <p><u><i>Colombia pos Covid: ¿qué hacer?</i></u></p> <p><u><i>Colombia, y el sistema intermodal de carga.</i></u></p> <p><u><i>Colombia, ¿y la inequidad qué?</i></u></p> <p><u><i>Crecimiento con deuda social.</i></u></p> <p><u><i>CTS, Economía y Territorio.</i></u></p> <p><u><i>¿Cuál es el mejor sistema de transporte para Colombia?</i></u></p> <p><u><i>Cultura y Astronomía – OAM</i></u></p> <p><u><i>Cultura y Turismo en Caldas.</i></u></p> <p><u><i>Cumanday, ¿el león dormido?</i></u></p> <p><u><i>Daño a reserva forestal que protege a Manizales.</i></u></p> <p><u><i>De la economía marrón a la naranja.</i></u></p> <p><u><i>De la tienda al hipermercado.</i></u></p>	<p><u><i>Sistematización de Experiencias y Estrategias de los PAI de la cuenca del río Guarinó.</i></u></p> <p><u><i>Subregiones del departamento de Caldas: Perfiles.</i></u></p> <p><u><i>Temas cívicos para agendas de desarrollo regional.</i></u></p> <p><u><i>UMBRA: la Ecorregión Cafetera en los Mundos de Samoga.</i></u></p> <p><u><i>La SMP de Manizales 107 años en la construcción del territorio.</i></u></p> <p><u><i>Muelle de Tribugá: ¿es posible el desarrollo sostenible?</i></u></p> <p><u><i>Newton: de Grecia al Renacimiento.</i></u></p> <p><u><i>Observaciones al componente general del POT de Manizales.</i></u></p> <p><u><i>Planificación estratégica para la movilidad.</i></u></p> <p><u><i>Por La Aurora, invocando el principio precautorio.</i></u></p> <p><u><i>Por un territorio verde y funcionalmente integrado.</i></u></p> <p><u><i>¿Réquiem por la Reserva Forestal Protectora de Río Blanco?</i></u></p> <p><u><i>Subregiones del departamento de Caldas: Perfiles.</i></u></p> <p><u><i>Territorio y Región: Caldas en la Ecorregión Cafetera.</i></u></p> <p><u><i>Vías lentas en el corazón del Paisaje Cultural Cafetero.</i></u></p> <p><u><i>Vida y desarrollo para el territorio del Atrato.</i></u></p> <p><u><i>Yuma, el río de Colombia impactando el territorio.</i></u></p>
---	--	--

...

...

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA (1867-2017)**



**GUÍA ASTRONÓMICA**

**Gonzalo Duque-Escobar**

**MANIZALES, 2020**

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3252>

Anexo 1: Colombia tropical: ¿y el agua qué?.	Anexo 12: La Luna
Anexo 2: Calentamiento global en Colombia	Anexo 13: Cultura y Astronomía (C&A)
Anexo 3: Aspectos geofísicos y amenazas naturales en los Andes de Colombia.	Anexo 14: Astronomía en La Edad Media y el Renacimiento.
Anexo 4: El camino a las estrellas.	Anexo 15: Sol, lunas y planetas.
Anexo 5: Isaac Newton	Anexo 16: Manual de geología para ingenieros
Anexo 6: Albert Einstein.	Anexo 17: Riesgo sísmico: los terremotos.
Anexo 7: Stephen Hawking	Anexo 18: CTS, Economía y Territorio.
Anexo 8: Geotecnia para el trópico andino.	Anexo 19: Cultura y Turismo en Caldas.
Anexo 9: Preservación Ambiental e Hídrica del Paisaje Cultural Cafetero.	Anexo.20: El Río Cauca y el desarrollo de la región.
Anexo 10: Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial.	Anexo 21: Videos: Temas de Astronomía y Medio Ambiente.
Anexo 11: Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia.	Anexo.22: UMBRA: la Ecorregión Cafetera en los Mundos de Samoga.
Enlaces U.N.: <a href="#">Textos “verdes”</a>	<b>El Autor: Gonzalo Duque-Escobar</b>

**HOME:**

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3252>

CONTENIDO: PRESENTACIÓN. GUÍA Nº 1. HISTORIA DE LA ASTRONOMÍA. GUÍA Nº 2. COORDENADAS ASTRONÓMICAS. GUÍA Nº 3. ELEMENTOS DE MECÁNICA PLANETARIA. GUÍA Nº 4. TIEMPO Y CALENDARIOS. GUÍA Nº 5. EL SISTEMA SOLAR. GUÍA Nº 6. SOL, LUNAS Y PLANETAS. GUÍA Nº 7. COSMOGRAFÍA. GUÍA Nº 8. ELEMENTOS DE ASTROFÍSICA. GUÍA Nº 9. LAS ESTRELLAS. GUÍA Nº 10. LAS GALAXIAS. GUÍA Nº 11. EL UNIVERSO. GUÍA Nº 12. TEORÍAS COSMOGÓNICAS. GUÍA Nº 13. ASTRONOMÍA EN COLOMBIA. BIBLIOGRAFÍA

**A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
COLOMBIA (1867-2017)



GUÍA ASTRONÓMICA

Gonzalo Duque-Escobar

GUÍA N° 5

EL SISTEMA SOLAR

Aurora en Saturno. O.E. Hubble.



## 5.1. SISTEMA SOLAR

Compuesto por ocho planetas, dos mil asteroides mayores, unos 100.000 millones de cometas y planetoides estimados en la nube de Oort, cuya zona más interior es el cinturón de Kuiper, el disco circunestelar que orbita alrededor del Sol a una distancia de entre 30 y 60 U.A. de donde provienen los cometas de corto período y donde se han encontrado los mayores cuerpos transneptunianos, considerados planetas enanos, como Plutón.

Además, gas y polvo y decenas de satélites de tamaño importante, donde Júpiter sólo alcanza a tener medio centenar. El Sol se desplaza a 20 km/seg respecto al patrón local de reposo hacia la estrella Vega de la constelación de la Lyra. En su familia, la del Sol, las **órbitas** de los planetas son casi coplanares; los menos son Mercurio (7°) y Plutón (17°). Las **traslaciones** planetarias son retrógradas respecto a la Polar y las **rotaciones** igualmente retrógradas, excepto Venus y Urano.

Mientras los planetas menores o terrestres, están vecinos al Sol, son sólidos, densos, de rotación lenta, con pocos o ningún satélite y de atmósfera poco extensa y poco densa por la menor gravedad, los planetas mayores



contrariamente se agrupan hacia el exterior de los anteriores; son más grandes, poco densos (líquido y gas con pequeño núcleo sólido) y presentan una atmósfera extensa; poseen una velocidad de rotación alta y muchos satélites. Plutón por su escasa masa y la consecuente estructura, ha perdido su estatus de planeta de primera categoría, y entra a ser miembro del grupo de planetas enanos. Es notable la excentricidad de su órbita y externa su ubicación respecto del sistema planetario principal.

Los planetas mayores se agrupan hacia el exterior de los anteriores, son más grandes, poco densos (líquido y gas con pequeño núcleo sólido) y presentan una atmósfera extensa, una velocidad de rotación alta y muchos satélites. Plutón por su estructura, por la excentricidad de su órbita y ubicación en el sistema, rompe la armonía y entra como planeta irregular.

Los **satélites** se subdividen en regulares e irregulares, según la órbita sea circular o excéntrica, poco o muy inclinado y la rotación y traslación del W al E (retrógrada) o del E al W (directa), respectivamente. Los primeros serían congénitos al planeta; los segundos, probablemente, asteroides capturados; una tercera posibilidad supone al satélite como producto de una fragmentación planetaria: su origen no se considera ni catastrófico ni evolutivo.

**Propiedades del sistema planetario** El sistema cósmico formado por el Sol, posee las siguientes propiedades: El Sol, en el centro del sistema planetario, tiene la mayor parte de la masa (todos los planetas y lunas juntos sólo son **1/700** de la masa solar), las distancias de los planetas al Sol (a excepción de Neptuno y Plutón) siguen la serie de **Titius-Bode**.

Para calcular en UA (Unidades Astronómicas), la distancia entre los miembros del sistema solar, a la serie 0, 3, 6, 12, 24... Boode sumó 4 y dividió por 10, la suma. La ley original de esta sucesión que facilita la distancia "a" de un planeta al Sol, era:  $a=(n+4)/10$ , para  $n = 0, 3, 6, 12, 24, 48...$

Cuadro 5.1 Ley de Titius-Bode

	Sol	Mer	Ven	Tie	Mar	Ast	Jup	Sat	Ura	Nep	Plu
Ley de Boode		0	3	6	12	24	48	96	192	384	768
		4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
		.4	.7	1.0	1.6	2.8	5.2	10.0	19.6	38.8	77.2
Dist real UA		0.39	0.72	1.0	1.52	---	5.2	9.54	19.2	30.1	39.4

En aquella época solo se conocían los planetas clásicos Mercurio, Venus, Tierra, Marte, Júpiter y Saturno

El Sol, los planetas (excepto Urano) y casi todas las lunas, giran alrededor de su eje en la misma dirección en que los planetas giran en torno al Sol (en sentido anti-horario). Las órbitas casi circulares de los planetas grandes, casi coinciden con el plano ecuatorial del Sol. Los movimientos, en sí, obedecen a las **leyes de Kepler**.

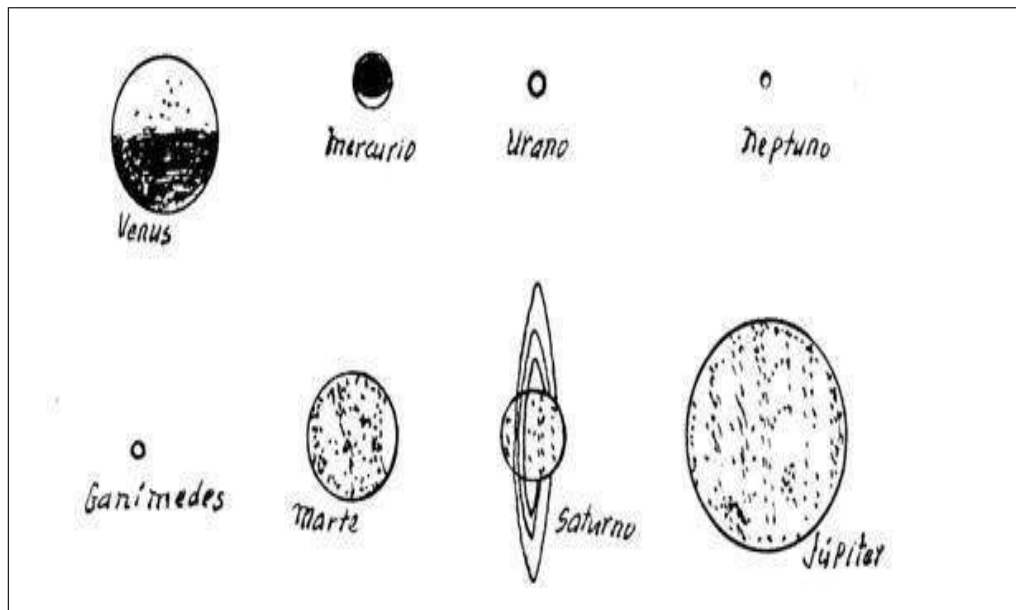


Figura 5.1 El Sistema Planetario: Comparación con los diámetros aparentes en el cielo. El tamaño aparente

es diámetro angular que aparenta tener un astro visto desde La Tierra. El momento de rotación del Sol es  $1/50$  del momento angular orbital de los planetas; el momento de rotación de los planetas es mayor que el momento angular orbital de sus lunas (con la única excepción de la luna de la Tierra).

La formación del sistema planetario sólo puede ser considerada en el marco de la teoría de la evolución estelar, según la cual, probablemente, se desarrolló a partir de una nube gaseosa giratoria bajo la influencia de un campo magnético, hasta el estado observable en la actualidad, a lo largo de unos 4600 millones de años (la hipótesis nebular y la hipótesis rotacional son sus precursores).

## 5.2. EL SOL

**5.2.1 Estructura del Sol.** Se dará una descripción somera de la estructura solar; más adelante, al ver la estructura de las estrellas, volveremos a lo mismo para describir las regiones del Sol en detalle. Véanse imágenes 9.5 y 10.7.

El Sol genera la energía en el núcleo; el manto la transmite por convección, radiación y conducción hacia la fotosfera. La fotosfera, con sus manchas solares asociadas a tormentas magnéticas, es la región visible del Sol. La cromosfera con sus protuberancias y fulguraciones, la corona con su temperatura de  $10^6$  grados °C y el viento solar, son las regiones restantes de la estructura solar.

**La zona de convección** abarca poco más abajo de la superficie solar hasta unos 130000 km de profundidad, tiene un enorme gradiente de temperatura; en ella el hidrógeno está todavía en estado neutro, mientras que debajo está ionizado.

**La fotosfera** es la capa que se ve a simple vista con un anteojo normal, su espesor es de 400 km. Presenta una **granulación** observable por medio de telescopios a bordo de globos donde no son afectados por la atmósfera. La granulación se observa en toda la superficie solar, como bolas de gas más calientes que su entorno, y que debido a su mayor temperatura ascienden rápidamente, se enfrían y vuelven a descender.

**La cromosfera** se encuentra por encima de la fotosfera y se llama así porque en los eclipses de Sol aparece con tonalidad rojiza, su espesor es de 8000 km.

**5.2.2 El Sol como estrella fija y como cuerpo central.** La constante solar no es tan constante como supone el término. El Sol está sometido a ciclos de actividad que condicionan el clima de la Tierra. De otro lado, las características del Sol y sus procesos internos, son la mejor referencia para el estudio de las estrellas.

**Cuadro 5.2 El Sol**

Radio: $6.9635 \times 10^{10}$ cm = 109 veces el terrestre	Aceleración de la gravedad en la superficie: $2.74 \times 10^4$ cm/seg <sup>2</sup> = 27.9 veces la terrestre
Superficie: $6.0936 \times 10^{22}$ cm <sup>2</sup> = 11880 veces la terrestre	Velocidad de rotación en el ecuador: 2.00 km/seg
Volumen: $1.4144 \times 10^{33}$ cm <sup>3</sup> = $1.306 \times 10^6$ veces el terrestre	Densidad media: $1.409$ g/cm <sup>3</sup> = 0.25 veces la terrestre
Masa: $1.993 \times 10^{33}$ g = 332.270 veces la terrestre	Producción energética: $3.98 \times 10^{33}$ erg/seg
Diámetro solar medio aparente: 31'59"	Paralaje solar: 8.79"
Inclinación del ecuador solar respecto de la eclíptica: 7° 15'	Tipo espectral: G 2
Constante solar: 2.00 cal/cm <sup>2</sup> min	Magnitud absoluta: +4.73
Potencia de la radiación solar sobre toda la superficie terrestre:	Magnitud aparente: -26.84
$1.78 \times 10^{24}$ erg/seg = $1.78 \times 10^{14}$ kw	Distancia media Sol-Tierra: $1.496 \times 10^{13}$ cm Distancia mínima (perihelio): $1.4688 \times 10^{13}$ cm Distancia máxima (afelio): $1.5189 \times 10^{13}$ cm

Fuentes: Diccionario Rioduero "Física del Espacio", 1978. Enciclopedia Científica Salvat. "El Universo Desbocado".

**5.2.3 Composición del Sol por capas**

Cuadro 5.3 Composición del Sol por capas

Composición del Sol por capas						
		Distancia del centro		Presión atmósferas	Temperatura °C Millones	Densidad g/cm
		100 km	R			
Interior del Sol	Generación de energía. Transporte de energía al exterior por corrientes de radiación. Capas estables	0	0	221000 x 10 <sup>6</sup>	14,6	134
		28	0,04	200000 x 10 <sup>6</sup>	14,2	121
		70	0,1	135000 x 10 <sup>6</sup>	12,6	85,5
		139	0,2	45900 x 10 <sup>6</sup>	9,35	36,4
		209	0,3	11600 x 10 <sup>6</sup>	6,65	12,9
		279	0,4	2670 x 10 <sup>6</sup>	4,74	4,13
		348	0,5	605 x 10 <sup>6</sup>	3,42	1,30
		418	0,6	137 x 10 <sup>6</sup>	2,49	0,405
		488	0,7	30 x 10 <sup>6</sup>	1,8	0,124
		556	0,8	6,11 x 10 <sup>6</sup>	1,28	0,035
	Transporte de energía por corrientes de convección. Capas inestables	585	0,84	3,01 x 10 <sup>6</sup>	1,04	2 x 10 <sup>-2</sup>
		627	0,9	0,78 x 10 <sup>6</sup>	0,605	9 x 10 <sup>-3</sup>
		682	0,98	0,011 x 10 <sup>6</sup>	0,111	8 x 10 <sup>-4</sup>
		*				
Fotosfera	Capa de la que proviene la radiación visible, manchas visibles, antorchas y granulaciones		500 km de grosor de la capa	0,22	9000	5 x 10 <sup>-7</sup>
				0,08	5800	2 x 10 <sup>-7</sup>
				0,006	4300	3 x 10 <sup>-8</sup>
Borde del Sol	Borde del disco solar luminoso	696	1	0,006	4300	3 x 10 <sup>-8</sup>
Cromosfera	Capa fina de tonalidad rojiza en eclipses de	698	1,003		5000	1 x 10 <sup>-11</sup>
		700	1,006		5000	7 x 10 <sup>-13</sup>

Composición del Sol por capas						
		Distancia del centro		Presión atmósferas	Temperatura °C Millones	Densidad g/cm
		100 km	R			
	Sol; en ella filamentos y erupciones	702	1,009		6300	$1 \times 10^{-13}$
		704	1,012		300000	$2 \times 10^{-15}$
Corona	Envoltura muy dispersa (visible en eclipses de Sol) luminosa, en forma de radiación; en ella hay alojadas protuberancias	716	1,03		1	$5 \times 10^{-16}$
		1392	2			$5 \times 10^{-18}$
		2088	3			$5 \times 10^{-19}$
		2784	4			$2 \times 10^{-19}$

\* Grosor de la capa: aproximadamente 100,000 km

Fuente. Diccionario Rioduero. Física del Espacio.

### 5.3. LOS PLANETAS

Según la resolución adoptada por la Unión Astronómica Internacional (UAI) en agosto de 2006, precedida por dos años de debates y 10 días de controvertidas sesiones en la capital checa, los planetas y sus cuerpos en nuestro Sistema Solar se definen en tres categorías, de la siguiente manera:

- *Primera categoría:* "Un planeta es un cuerpo celeste que está en órbita alrededor del Sol, que tiene suficiente masa para tener gravedad propia para superar las fuerzas rígidas de un cuerpo de manera que asuma una forma equilibrada hidrostática, es decir, redonda, y que ha despejado las inmediaciones de su órbita".
- *Segunda categoría:* "Un planeta enano es un cuerpo celeste que está en órbita alrededor del Sol, que tiene suficiente masa para tener gravedad propia para superar las fuerzas rígidas de un cuerpo de manera que asuma una forma equilibrada hidrostática, es decir, redonda; que no ha despejado las inmediaciones de su órbita y que no es un satélite."
- *Tercera categoría:* "Todos los demás objetos que orbitan alrededor del Sol son considerados colectivamente como cuerpos pequeños del Sistema Solar."

En el grupo de los Planetas Primera Categoría, para nuestro Sistema Solar, existen dos subdivisiones notables: la de los planetas terrestres, que son Mercurio, Venus, Tierra y Marte; y la de los planetas mayores, y que a su turno permite diferenciar el grupo de Júpiter y Saturno, del grupo de Urano y Neptuno.

En la Segunda Categoría, la de los Planetas Enanos, el Sistema Solar incluye cuerpos celestes como Ceres, Plutón, Sedna y Quaoar. Salvo Ceres, Plutón y los otros dos son cuerpos asociados a la región de Kuiper, la zona en forma de disco ubicada más allá de Neptuno entre 30 y 60 UA que muestra en la Figura 5.3, y que contiene miles de cometas y objetos planetarios. El propio Plutón, Caronte, Sedna, Quaoar, Eris y UB313, serían ejemplos de tales cuerpos transneptunianos.

**5.3.1. Grupo de los planetas terrestres.** Compuestos por elementos pesados. Son ellos Mercurio, Venus, Tierra y Marte.

**Mercurio.** Es el planeta situado **más cerca al Sol**. Es una esfera de roca con cráteres que órbita alrededor del Sol cada 88 días a una distancia media de 58 millones de km. Tiene un diámetro de 4.880 km y gira alrededor de su eje cada 59 días. No tiene satélites. Junto con Marte, es el único planeta en cuya superficie se pueden distinguir o fotografiar con el telescopio detalles, aunque casi siempre poco marcados; a esto se unen las condiciones poco favorables de observación por su cercanía al Sol.

La atmósfera es extraordinariamente tenue. La aceleración de la gravedad y la velocidad de escape en la superficie, son tan pequeñas, que el planeta sólo podría retener gases pesados como el anhídrido carbónico o el Argón. Su atmósfera sufre también las fluctuaciones extremas de temperatura, entre el lado diurno y el nocturno, +425°C y -170°C respectivamente.

**Venus.** Es el segundo planeta en línea desde el Sol. Orbita alrededor del Sol cada 225 días. Su diámetro es de 12.000 km. Gira alrededor de su eje cada 243 días con rotación retrógrada, a una distancia media de 108 millones de km. **Su densa atmósfera** impide la visión de la superficie. Consta de 96% de anhídrido carbónico, 3.5% de nitrógeno y 0.135% de vapor de agua, así como de trazas de anhídrido sulfuroso, oxígeno molecular, helio, argón y neón.

El "efecto de invernadero" es tan fuerte que las temperaturas apenas varían de la noche al día, fluctuando alrededor de +475°C; la presión de la atmósfera es de 90 bar. Un bar es una unidad de presión, aproximadamente igual a una atmósfera. En estas condiciones es difícil pensar en que existan formas de vida, ni siquiera inferiores.

**Tierra.** Es el Planeta Azul a causa de los extensos océanos. **En él se ha desarrollado la vida.** Tercero en línea desde el Sol. La Tierra tiene un diámetro en su ecuador de 12.756 km. Su diámetro de un polo a otro, es ligeramente menor, de 12.714 km. Orbita alrededor del Sol cada año a una distancia media de él de 149.600.000 km. Gira sobre su propio eje una vez cada día, tiene un satélite natural, la Luna.

Los polos geográficos de la Tierra no son fijos, sino que ejecutan oscilaciones casi periódicas alrededor de una posición media. El motivo es que el eje de simetría no coincide exactamente con el eje de rotación. La desviación máxima de los polos a partir de su posición media es de 10 ó 15 metros.

**Marte.** Cuarto planeta desde el Sol. Es un cuerpo rocoso de 6.800 km de diámetro, que órbita alrededor del Sol cada 687 días a una distancia media de 228 millones de km. Marte gira alrededor de su eje en 24 h y 37.4 min. Tiene una atmósfera muy poco densa formada principalmente por dióxido de carbono y presenta dos casquetes de hielo. Tiene dos satélites: Fobos y Deimos.



**Canales de Marte:** Líneas rectas y largas sobre la superficie de Marte, señaladas por varios observadores en el pasado y que se creía que eran canales de agua construidos por los habitantes del planeta. Ahora se sabe que no hay canales ni signos de vida.

**5.3.2. Júpiter y Saturno.** Predominan el Helio y el Hidrógeno, pero pueden tener igualmente núcleos pesados.

**Júpiter.** Planeta de mayor tamaño en el sistema solar, y quinto desde el Sol. Pesa doce veces más que el resto de los planetas juntos. Está formado principalmente por hidrógeno y helio. Júpiter tiene un diámetro de 142.800 km en su ecuador y 134.200 km de un polo a otro. Gira alrededor de su eje en 9 horas 50 minutos en el ecuador. Júpiter órbita alrededor del Sol cada 11.9 años a una distancia media de 778 millones de km.

**Mancha roja:** formación ovalada, en las nubes de Júpiter de aproximadamente 32.000 Km y 13.000 Km de ancho. Fue vista por primera vez hace 300 años y es la única característica del planeta que ha durado tanto tiempo. Su color varía de rosa pálido y rojo, al anaranjado oscuro.

**Saturno.** Sexto planeta desde el Sol, con anillos brillantes. Saturno es una esfera de gas de 120.000 Km de diámetro en el ecuador y 108.000 Km de polo a polo. Gira alrededor de su eje cada 10 h 14 min en el ecuador; órbita al Sol cada 29.5 años con una distancia media de 1.430 millones de kilómetros.

**Anillos de Saturno:** Los anillos están formados por innumerables piezas de rocas recubiertas de hielo. Su tamaño oscila entre pocos milímetros y varios metros de diámetro. Cada una de estas piezas se mueve en una órbita alrededor de Saturno como un diminuto satélite. Existen tres partes principales en los anillos.

La parte exterior se llama anillo A, el central anillo B, que es el más brillante, y el interior anillo C, que permite ver a su través. El diámetro global de los anillos es de aproximadamente 270.000 Km. Los anillos son los

restos de un antiguo satélite que se desintegró o bien los restos de un satélite que no ha llegado a formarse.

**División de Cassini:** Espacio de unos 3.000 km de ancho que hay entre los anillos A y B.

**5.3.3. Urano y Neptuno.** Se supone que tienen un núcleo mayor y más pesado, pero parecen estar envueltos en una densa cubierta gaseosa.

**Urano.** Séptimo planeta descubierto por W. Herschel en 1781. Orbita alrededor del Sol cada 84 años, a una distancia media de 2.870 millones de km. Es una esfera de 52.000 km de diámetro. Gira alrededor de su eje cada 17.24 horas. El eje de rotación de Urano está **inclinado 98°** con respecto a la vertical de modo que casi está en el plano de su órbita. Tiene una serie de pálidos anillos alrededor de su ecuador. Tiene trece satélites.

**Neptuno.** Octavo planeta, descubierto por J. G. Galle en 1846. Orbita alrededor del Sol cada 165 años a una distancia media de 4.500 millones de km. Neptuno es una **esfera de gas** de 48.000 km de diámetro. Gira alrededor de su eje cada 18 horas. Tiene siete satélites conocidos.

#### 5.3.4. Plutón

Plutón, excluido de la familia de planetas, es un planeta enano del sistema solar con un diámetro de aproximadamente 2345 km. Fue descubierto por Clyde Tombaugh en 1930.

Plutón es una esfera de baja densidad de roca y hielo, que gira alrededor de su eje cada 6 días 9 horas. Orbita alrededor del Sol cada 250 años, a una distancia media de 5.900 millones de km. Plutón guarda una distancia media mayor que cualquier otro planeta, pero su órbita es tan elíptica que hay momentos en que se acerca

más al Sol que Neptuno, como sucedió en 1979 y 1999. Tiene un satélite de gran tamaño llamado **Caronte**.

#### 5.4. ASTEROIDES

Al referirnos a la estructura del Sistema solar, aludimos a la ley de Bode, que establece la existencia de cierta proporción entre las distancias de cada planeta respecto al Sol. Efectivamente, un planeta dista del Sol casi el doble del anterior. De acuerdo con éste esquema los astrónomos encontraron un hueco entre Marte y Júpiter. Para que esta ley se cumpliera, tenía que existir un planeta a casi el doble de la distancia del Sol que Marte y este no era visible. En su lugar se encontró un enjambre de pequeños planetas o planetoides, con diámetro menor de 1000 km. Se calculan unos 20 millones en el Sistema Solar.

Su origen es incierto. Posiblemente se trata de los restos de un planeta que se desintegró, o de materia que jamás llegó a formar un planeta.

Los asteroides se separan en tres familias: el grupo **Amor** con perihelio entre Tierra y Marte; el grupo **Apolo** con perihelio entre Sol y Tierra. De todas maneras, a los de órbita muy excéntrica se les dan nombres masculinos y a los otros nombres femeninos. El tercer grupo es el de los **Trojanos**, que se mueven en la órbita de Júpiter, situados en las distancias Lagrangianas de  $\pm 60^\circ$ , donde quedan libres de perturbación gravitacional y son ellos los subgrupos **Aquiles** y **Patroclo**.

**Los meteoros:** son diminutas partículas de materia que atraviesan el espacio a 70 Km/s, entrando en incandescencia y consumiéndose debido a la fricción con nuestra atmósfera. Por término medio los meteoros son tan pequeños como un grano de arena. En realidad penetran en la atmósfera terrestre unos 100 millones de ellos por día.

Los meteoros explican **estrellas fugaces** ( $m < 10$  gm) y bolas de fuego ( $m > 10$  gm). Los más grandes entran

a la troposfera, estallan, y caen sobre la superficie en forma de meteorito. **Los meteoritos:** se generan por los meteoros, si han caído sobre la superficie de la Tierra. También se denominan así pequeños "planetas" que aún circundan el espacio exterior, en razón a su posibilidad de alcanzar el suelo ante una eventual colisión con la Tierra. La mayoría de meteoritos (caídos) pesan algunos gramos, y entran en tres clases: los aerolitos compuestos de roca (lapídeos), las tectitas ricas en silicio y los sideritos de níquel-hierro.

**Asteroides Potencialmente Peligrosos** son aquellos que podrían acercarse a menos de 0,05 U.A. de la Tierra y tienen más 150 m de diámetro. Actualmente se conocen más de 300 Asteroides Potencialmente Peligrosos (PHAs). Pero todos ellos han sido clasificados como "virtualmente sin chance de impacto o daños"; 0 en la "Escala de Torino", en la que se califica el riesgo de impacto o colisión de 1 a 10, siendo 10 el nivel de mayor peligro.

## 5.5. LOS COMETAS

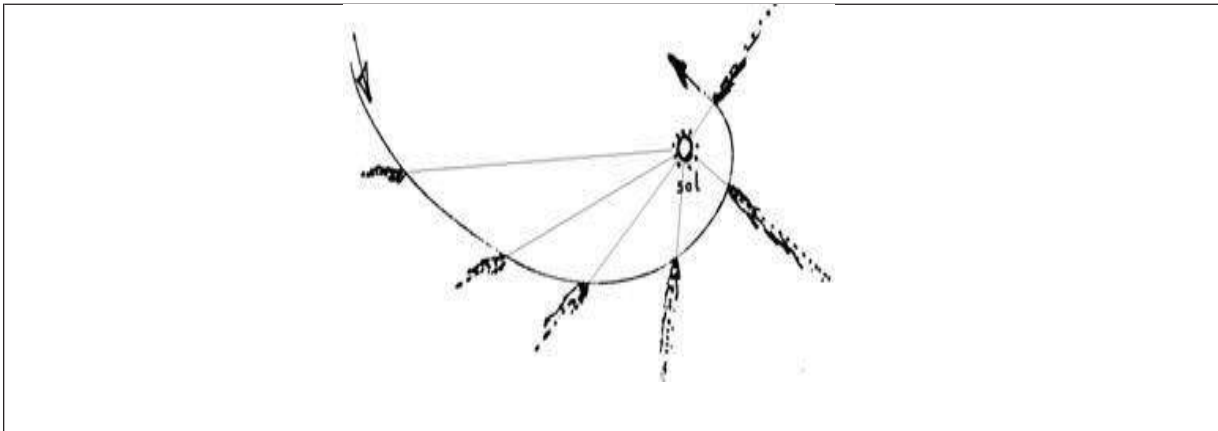


Figura 5.2 Trayectoria de un cometa: el cuerpo se desplaza con su cola en dirección contraria al Sol, a causa de la presión ejercida por el viento solar. Al ir aumentando su velocidad hasta alcanzar el máximo valor cerca del perihelio, va mostrando con su movimiento la curvatura creciente del espacio como causa del efecto gravitacional ocasionado por la masa del Sol.

Se subdividen en periódicos de período corto y largo según sea el período menor o mayor de 200 años, y en

los de trayectoria parabólica (sin retorno), todos venidos ya de la Nube de Oort a 100.000 U. A. ( $\alpha$  Centauro está a 275.000 U. A.), para el caso de los cometas de período largo período, ya del Cinturón de Kuiper localizado entre 30 y 60 UA para los de período corto, y de donde salen por perturbaciones de gravedad al paso de estrellas. El núcleo de hielo sucio es amoníaco, CO<sub>2</sub>, Metano, H<sub>2</sub>O y polvo congelados, y la cola es la sublimación de lo anterior por la radiación solar: se separan el gas y el polvo y se disocia polvo, H, Cianuro, O, etc. ionizados.

La cola de un cometa crece cuando se acerca al Sol, y la ruta de paso queda contaminada con fragmentos cometarios que explican las noches de estrellas fugaces, cuando la Tierra transita por a esa misma región.

**El cometa Halley:** se trata de un cometa periódico y retrógrado, el que ha sido observado en más ocasiones y el primero de los cometas en calificarse de periódico, prediciéndose su retorno. Como todos, ha sido instrumento para augurio de catástrofes y grandes acontecimientos.

Para conocer los pasos del Halley, cuyo **período es de 76 años**, es necesario hacer ajustes a algunos algoritmos, por efectos gravitacionales y no gravitacionales, como los producidos por los planetas a los cuales se aproxima el cometa en su perihelio.

De los pasos históricos, los de 1531, 1607, y 1682, registrados por Halley, son los más importantes por haberle servido al científico, cuyo nombre lleva el cometa, para el primer pronóstico cometario.

La segunda aparición es la del 85-86, ya que desde octubre de 1982 se le puede detectar anticipadamente con el telescopio de Monte Palomar. Posiblemente, por su espectacularidad, el retorno de 1910 fue más popular que los citados, por la majestuosidad del fenómeno y por las falsas expectativas que se generalizaron en el ambiente.

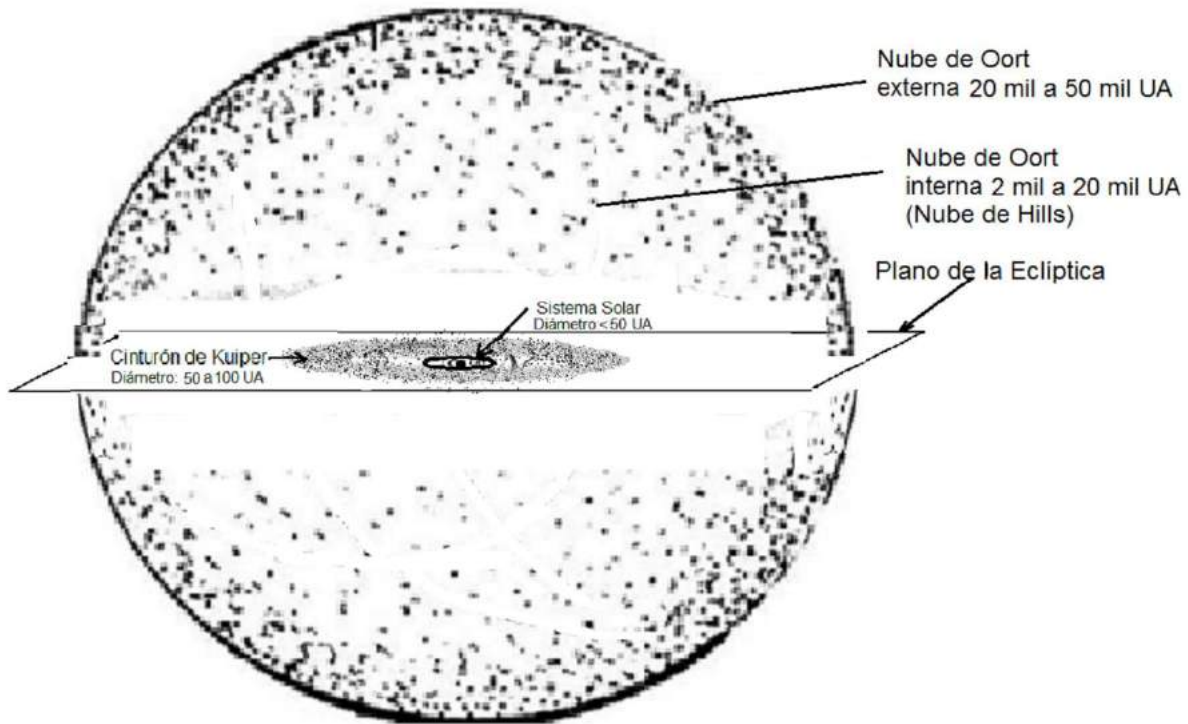


Figura 5.3 La Nube de Oort vasto halo esférico con unos 100.000 millones de cometas potenciales, que giran en torno al Sol a una distancia que se extiende hasta cercana a un año luz. Sobre el plano de la eclíptica contiene el Cinturón de Kuiper, en cuyo interior aparece el Sistema Solar. Al formarse el sistema solar, los elementos livianos fueron a las regiones frías y alejadas del Sol. El año luz, equivale a 63 mil 239 UA.

**CARACTERÍSTICAS DE LOS PLANETAS DEL SISTEMA SOLAR**

**Cuadro 5.4 Características de los planetas del sistema solar**

	MERCURIO	VENUS	TIERRA	MARTE	JUPITER	SATURNO	URANO	NEPTUNO	PLUTON
Distancia media del Sol (Km) x 10 <sup>6</sup>	57.9	108.2	149.6	227.9	778.3	1427	2869.6	4496.6	5900

Distancia media del Sol (U. A.)	0.387	0.723	1	1,524	5,203	9,539	19.18	30.06	39.44
Período sidéreo de revolución alrededor del Sol	88 d	224.7 d	365.26 d	687 d	11.86 a	29.46 a	84.01 a	164.8 a	247.7 a
Excentricidad de la órbita <sup>1</sup>	0.206	0.007	0.017	0.093	0.048	0.056	0.047	0.009	0.25
Período de rotación (sidéreo)	58.646 d	243.16 d	23h56m4s	24h37m23s	9h50m30s	10h39m24s±7s	~16.8 h	~18 h	6.39 d
Velocidad orbital media (Km/s)	47.85	35.02	29.78	24.15	13.03	9.65	6.8	5.44	5.75
Inclinación de la órbita	7°	3°,4	0°	1°.9	1°.3	2°.5	0.8°	1.8°	17.2°

	MERCURIO	VENUS	TIERRA	MARTE	JUPITER	SATURNO	URANO	NEPTUNO	PLUTON
respecto de la eclíptica									
Inclinación del eje respecto a la perpendicular del plano de la órbita	2°	3°	23°27'	23° 59'	3° 5'	26° 44'	82° 5'	28° 48'	?
Radio en el ecuador (Km)	2489 ± 18	6310	6378	3389,9	71714± 25	60330	26200	25225± 30	1530±1 20
Achatamiento <sup>2</sup>	0	0	0.003	0.009	0.06	0.1	0.06	0.02	?
Masa (Tierra = 1) <sup>3</sup>	0.055	0.815	1	0,108	318,1	95,147	14.6	17.2	0.1
Masa (porcentaje de la masa del Sol)	1.7x10 <sup>-5</sup>	2.48x10 <sup>-4</sup>	3.04x10 <sup>-4</sup>	3.3x10 <sup>-5</sup>	9,677 x10 <sup>-2</sup>	2.89x10 <sup>-2</sup>	4.4x10 <sup>-3</sup>	5.28x10 <sup>-3</sup>	3.0x10 <sup>-5</sup>
Densidad media (g/cm <sup>3</sup> )	5,432	5,248	5,52	3,933	1,33	0,674	1.24	1.66	1-2



	MERCURIO	VENUS	TIERRA	MARTE	JUPITER	SATURNO	URANO	NEPTUNO	PLUTON
Atmósfera componente principal	He(0.98) ) H(0.02)	CO <sub>2</sub> (0.96) ) N <sub>2</sub> (0.035)	N <sub>2</sub> (0.77) ) O <sub>2</sub> (0.21)	CO <sub>2</sub> (0.95) ) N <sub>2</sub> (0.027)	H <sub>2</sub> (0.89) ) He(0.11)	H <sub>2</sub> (0.89) ) He(0.21)	H <sub>2</sub> (0.89) ) He(0.11) ) CH <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> (0.89) ) He (0.11) CH <sub>4</sub>	?
Temperatura media de la superficie (°C de día)	350	482	22	-23	-148	-179	-215	-218	-230
Aceleración de la gravedad (Tierra=1)	0.37	0.88	1	0,38	2,64	1,15	1.17	1.18	?
Constante solar (Tierra = 1) <sup>4</sup>	6.68	1.91	1	0.43	0.037	0.011	2.7x10 <sup>-3</sup>	1.1x10 <sup>-3</sup>	6.4x10 <sup>-4</sup>
Número de lunas principales	0	0	1	2	15	15	12	8	1
Momento magnético (tesla cm <sup>3</sup> )	3.3x 10 <sup>18</sup>	<1x10 <sup>18</sup>	8.06x10 <sup>21</sup>	≤2.5x10 <sup>17</sup>	≤1.55 x10 <sup>26</sup>	4.6x10 <sup>24</sup>	?	?	?

	MERCURIO	VENUS	TIERRA	MARTE	JUPITER	SATURNO	URANO	NEPTUNO	PLUTON
Radio del núcleo (Km)	1800	3000	3486	1700	52000	28000	?	?	?
Distancia de las magneto pausas (radios de los planetas)	1,5	---	10	~1.3	~100	~23	?	?	?
Angulo entre el eje magnético y el eje de rotación	10°	---	10°	10°	10°	0.7±0.3 5			
Presión atmosférica en la superficie (bares)	2x10 <sup>-15</sup>	91	1	0.007	>>100	>>100	>>100	>>100	?
Albedo		0.77	0.30	0.15	0.45	0.61	0.35	0.35	?
Peso molecular medio de la atmósfera	---	44	29	44	2	2	3	3	

<sup>1</sup> La excentricidad es la relación entre la diferencia de los semiejes y el semieje mayor de la órbita.

<sup>2</sup> Se denomina achatamiento a la relación entre la diferencia de los radios ecuatorial y polar y el radio ecuatorial.

<sup>3</sup> Masa de la Tierra  $M_t = 5,976 \times 10^{27}$  g; masa de Júpiter  $M_j = 1,901 \times 10^{30}$  g; masa del Sol  $M_s = 1,966 \times 10^{33}$  g.

<sup>4</sup> Constante solar de la Tierra  $1.4 \times 10^6$  erg/cm<sup>2</sup> seg.

<sup>5</sup> Según datos de 1981 y años posteriores (Misión Voyager).

NOTA: Los datos proceden de diferentes fuentes, la mayor parte se han tomado de D. Morrison, D. P. Cruikshank y J. A. Burns, "Introducing the Satellites", en Planetary Satellites, J. A. Burns, Editor, University of Arizona Press, pags 3 a 17, 1977. Se han corregido las cifras en los casos en que se disponía de datos más recientes. Estos han sido tomados de la bibliografía citada en el libro "Sol, Lunas y Planetas", Erhard Kepler. Editorial Salvat. 1986.

**5.7. CARACTERÍSTICAS DE LAS LUNAS PRINCIPALES**

**Cuadro 5.5 Características de las lunas principales del sistema solar**

				CARACTERÍSTICAS DE LA ORBITA				DIMENSIONES		
Nº	Planeta	Nombre de la Luna	Descubierta año	Radio medio de la órbita/km/radio del planeta	Período de revolución (6)	Inclinación (1)	Excentricidad	Radio (Km) (7)	Masa (g)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
1	Tierra	Luna	---	$3,844 \times 10^5$ 60,2	27,3217 d	18,2 28,6	0,0549	1738	7,35 $\times 10^{25}$	3,344

				CARACTERÍSTICAS DE LA ORBITA				DIMENSIONES		
Nº	Planeta	Nombre de la Luna	Descubierta año	Radio medio de la órbita/km/ radio del planeta	Período de revolución (6)	Inclinación (1)	Excentricidad	Radio (Km) (7)	Masa (g)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
2	Marte 2	Fobos	1877	6660 1,96	7,65 d	1,02	0,015	9,6/10, 7/13,5	9,6 x10 <sup>18</sup>	1,8 ± 0,5
		M1	Hall							
		Deimos	1877							
		M2	Hall							
4	Júpiter 15	Amaltea J5	1892 Barnard	185740 2,59	11 h 44 m	0,4	0,003	135/70	~10 <sup>21</sup>	3,5 (?)
5		1979 J2 J15	1979 Voyager	2,217x10 <sup>5</sup> 3,15	16 h 11m 21,25 s	1,25		40		
6		Io J1	1610 Galileo	431000 6,01	42 h 27 m 4s	0	0	1816± 5	8,9 x10 <sup>25</sup>	3,55
7		Europa J2	1610 Galileo	6,86x10 <sup>5</sup> 9,57	3,551 d	0,5	0	1563± 5	4,87x1 0 <sup>25</sup>	3,05

				CARACTERÍSTICAS DE LA ORBITA				DIMENSIONES		
Nº	Planeta	Nombre de la Luna	Descubierta año	Radio medio de la órbita/km/ radio del planeta	Período de revolución  (6)	Inclinación (1)	Excentricidad	Radio (Km)  (7)	Masa (g)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
8		Ganímedes  J3	1610  Galileo	1,094x10 <sup>6</sup> 15,26	7,155 d	0,2	0,001	26,38± 10	1,49x10 <sup>26</sup>	1,94
9		Calisto  J4	1610  Galileo	1,922x10 <sup>6</sup> 26,80	16,689 d	0,2	0,01	2410± 10	1,074x10 <sup>24</sup>	1,83
10		Leda  J13	1974  Kowal	1,122x10 <sup>7</sup> 156,4	240 d	26,7	0,146			
11		Himalia  J6	1904  Perriene	1,15x10 <sup>7</sup> 160,4	250,6 d	27,6	0,158	60		
12		Elara  J7	1904  Perriene	1,175x10 <sup>7</sup> 163,8	259,8 d	24,8	0,207	20		
13		Lisitea  J10	1938  Nicholson	1,175x10 <sup>7</sup> 163,8	260 d	29	0,130	10		
14		Ananke	1951	2,10x10 <sup>7</sup>	625 d (R)	147	0,17	10		

				CARACTERÍSTICAS DE LA ORBITA				DIMENSIONES		
Nº	Planeta	Nombre de la Luna	Descubierta año	Radio medio de la órbita/km/ radio del planeta	Período de revolución (6)	Inclinación (1)	Excentricidad	Radio (Km) (7)	Masa (g)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
		J12	Nicholson	292,8						
15		Carme J11	1938 Nicholson	2,25x10 <sup>7</sup> 313,7	696 d (R)	164	0,21	12		
16		Pasifae J8	1908 Melotte	2,35x10 <sup>7</sup> 327,7	738,9 d (R)	145	20	20		
17		Sinope J9	1914 Nicholson	2,37x10 <sup>7</sup> 330,5	755 d (R)	153	11	11		
18		1978 J1 J14	1979 Voyager	129514 1,80+0,01	7 h 8 m	0	0	15 - 20		
19		Anillo	1979 Voyager	800-6000 1,68-1,8						
20	Saturno 15 (4)	1980	1980	1,373x10 <sup>5</sup> 2,276	14 h 26 m 45 s	0,3	0,002	15		

				CARACTERÍSTICAS DE LA ORBITA				DIMENSIONES		
Nº	Planeta	Nombre de la Luna	Descubierta año	Radio medio de la órbita/km/ radio del planeta	Período de revolución (6)	Inclinación (1)	Excentricidad	Radio (Km) (7)	Masa (g)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
		S15	Voyager 1							
21		1980 S14	1980 Voyager 1	1,394x10 <sup>5</sup> 2,310	14 h 42 m 43 s	0,0	0,003	110		
22		1980 S26	1980 Voyager 1	1,417x10 <sup>5</sup> 2,349	15 h 5 m 6 s	0,05	0,004	110		
23		1980 S10 (8)	1980 voyager 1	1,51422x 10 <sup>5</sup> 2,510	16 H 39 M 50 S	0,34	0,009	90 x 40		
24		1980 S11 (8)	1980 VOYAGER 1	1,51472X 10 <sup>5</sup> 2,511	16 H 40 M 19 S	0,14	0,007	100 x 90		
25		Mimas S1	1789 Herschel	1,862x10 <sup>5</sup> 3,086	22 h 36 m 29 s	1,5	0,021	195±5	8,7 x10 <sup>22</sup>	1,2 ± 0,1

				CARACTERÍSTICAS DE LA ORBITA				DIMENSIONES		
Nº	Planeta	Nombre de la Luna	Descubierta año	Radio medio de la órbita/km/ radio del planeta	Período de revolución (6)	Inclinación (1)	Excentricidad	Radio (Km) (7)	Masa (g)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
26		Encélado S2	1789 Herschel	2,382x10 <sup>5</sup> 3,948	1,37 d	0	0,0044	250 ±10	8,4 x10 <sup>22</sup>	1,1 ± 0,6
27		Tetis S3	1684 Cassini	2,948x10 <sup>5</sup> 4,886	1,888 d	1,1	0	525 ± 10	6,2 x10 <sup>23</sup>	1,0 ± 0,1
28		Dione S4	1684 Cassini	3,777x10 <sup>5</sup> 6,261	2,737 d	0	0,0022	560 ± 10	1,16 x10 <sup>24</sup>	1,4 ± 0,1
29		1980 S12	1980 Voyager 1	3,7806x10 <sup>5</sup> 6,267		0,15				
30		Rea S5	1672 Cassini	5,275x10 <sup>5</sup> 8,744	4,518 d	0,4	0,001	760 ± 10	2,50 x10 <sup>24</sup>	1,33 ± 0,1
31		Titán S6	1655 Huygens	1,222x10 <sup>6</sup> 20,6	15,945 d	0,3	0,0289	2560 ± 26	1,345 x10 <sup>26</sup>	1,9±0,06



				CARACTERÍSTICAS DE LA ORBITA				DIMENSIONES		
Nº	Planeta	Nombre de la Luna	Descubierta año	Radio medio de la órbita/km/ radio del planeta	Período de revolución (6)	Inclinación (1)	Excentricidad	Radio (Km) (7)	Masa (g)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
32		Hiperión S7	1948 /Bond Lassell	1,481x10 <sup>6</sup> 24,55	21,277 d	0,4	0,1042	407 x 241	?	?
33		Japeto S8	1671 Cassini	3,563x10 <sup>6</sup> 59,06	79,331 d	14,7	0,0283	720 ± 20	2,8x10 <sup>24</sup>	1,1±0,1
34		Febe S9	1898 Pickering	1,295x10 <sup>7</sup> 214,71	550,45 d (R)	150	0,1633	150	?	?
35		Anillos A-F más de 1000 estructuras	1655 Huygens	72 610- 136 200  1,215- 2,26		0	0			1
36	Urano 13	Miranda U5	1948 Kuiper	1,301x10 <sup>5</sup> 5,13	1,413 d	0	< 0,001	>150	8,7 x10 <sup>22</sup>	
37		Ariel U1	1851	1,918x10 <sup>5</sup> 7,54	2,52 d	0	0,0028	>300	1,3 x10 <sup>24</sup>	

				CARACTERÍSTICAS DE LA ORBITA				DIMENSIONES		
Nº	Planeta	Nombre de la Luna	Descubierta año	Radio medio de la órbita/km/radio del planeta	Período de revolución (6)	Inclinación (1)	Excentricidad	Radio (Km) (7)	Masa (g)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
			Lassell							
38		Umbriel U2	1851 Lassell	2,673x10 <sup>5</sup> 10,5	4,144 d	0	0,0035	>200	5,2 x10 <sup>23</sup>	
39		Titania U3	1787 Herschel	4,387x10 <sup>5</sup> 17,2	8,706 d	0	0,0024	>500	4,4 x10 <sup>24</sup>	
40		Oberón U4	1787 Herschel	5,866x10 <sup>5</sup> 23,0	13,463 d	0	0,0007	>400	2,5 x10 <sup>24</sup>	
41		1986	1986 Voyager 2							
42		1985 U1	1985 Voyager 2							
43		1986 U1	1986							

				CARACTERÍSTICAS DE LA ORBITA				DIMENSIONES		
Nº	Planeta	Nombre de la Luna	Descubierta año	Radio medio de la órbita/km/ radio del planeta	Período de revolución (6)	Inclinación (1)	Excentricidad	Radio (Km) (7)	Masa (g)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
			Voyager 2							
44		1986 U2	1986 Voyager 2							
45		1986 U3	1986 Voyager 2							
46		1986 U4	1986 Voyager 2							
47		1986 U5	1986 Voyager 2							
48		1986 U6	1986							

				CARACTERÍSTICAS DE LA ORBITA				DIMENSIONES		
Nº	Planeta	Nombre de la Luna	Descubierta año	Radio medio de la órbita/km/ radio del planeta	Período de revolución  (6)	Inclinación (1)	Excentricidad	Radio (Km)  (7)	Masa (g)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
			Voyager 2							
49		Anillo	1979	44844 51055 1,718 1,956						
50	Neptuno	Tritón  N1	1846  Lassell	3,536x10 <sup>5</sup> <sub>14,02</sub>	5,877 d  (R)	160	0	1820 - 2640		4,8  (min. 1,6)
51		Nereida  N2	1949  Kuiper	5,56x10 <sup>6</sup> 220,4	359,881 d	27,6	0,749	150		
52		Proteus	Voyager 2							
53		*	Voyager 2							
54		Despina	Voyager 2							

				CARACTERÍSTICAS DE LA ORBITA				DIMENSIONES		
Nº	Planeta	Nombre de la Luna	Descubierta año	Radio medio de la órbita/km/ radio del planeta	Período de revolución  (6)	Inclinación (1)	Excentricidad	Radio (Km)  (7)	Masa (g)	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )
55		*	Voyager 2							
56		Thalassa	Voyager 2							
57		Naida	Voyager 2							
58	Plutón	Charon	1978	17500	6,4d	?	?	?	1,9 x10 <sup>20</sup>	
	1	P1	J. Christy	11,44						

<sup>1</sup> Inclinación con respecto al ecuador del planeta.

<sup>2</sup> Datos de las lunas de Marte procedentes de las mediciones de la misión Viking (v. Journal of Geophysical Research 84, vol. B 14, 1979. Los datos se refieren a radios, no a diámetros.

<sup>3</sup> Los datos de Júpiter proceden de las mediciones de la misión Voyager (v. Science 206, pag 925-996, 1979).

<sup>4</sup> Los datos de Saturno proceden de las mediciones de la Sonda Pioneer 11 (v. Science 207, pag 401-403, 1980) y Voyager 1 y 2 (Science 212, pag 159-243, 1981).

<sup>5</sup> Las masas de las lunas de Urano se basan en datos fotométricos, según Greenberg, Icarus 24, pag 325-32, 1975.

<sup>6</sup> R significa órbita retrógrada.

<sup>7</sup> El diámetro de las lunas se determinó en parte por las sondas espaciales (Marte, Júpiter, Saturno), en parte por la observación de eclipses de lunas, en parte por el albedo. En el caso de cuerpos irregulares se indican dimensiones características.

<sup>8</sup> Descubierta por Dolfus, se le denominó "Jano". La sonda Voyager 1 permitió ver que se trataba de dos lunas prácticamente en la misma órbita.

<sup>9</sup> Datos tomados del programa "Cápsula Científica" de la Radiodifusora Nacional de Colombia.

<sup>10</sup> Bautizando las lunas de Neptuno. Issac Asimov. El Tiempo 10 de febrero de 1991.

Fuente: "Sol, Lunas y Planetas", de Erhard Keppler. Editorial Salvat.

## 5.8. ASTEROIDES ACECHANDO LA TIERRA

### A- Encuentro del 2011 MD, con la Tierra

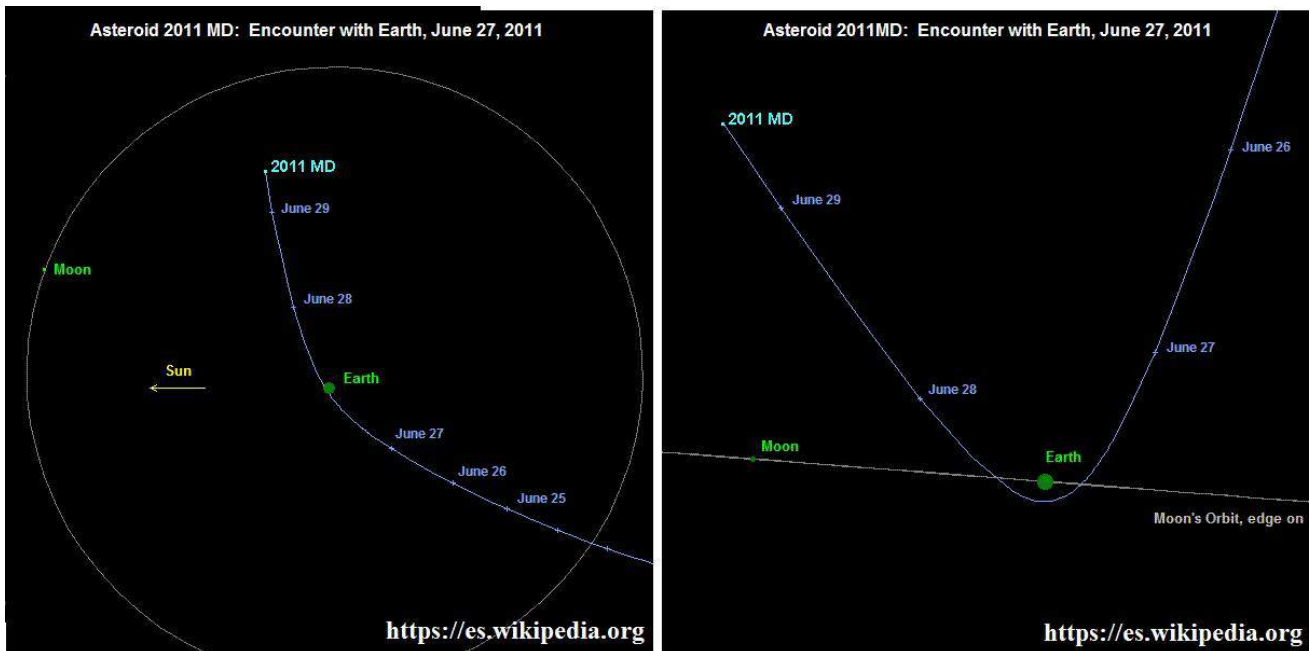


Figura 5.4: Trayectoria del asteroide 2011 MD, según SpaceWeather, en <https://es.wikipedia.org>

Desde Nuevo México se informa sobre un asteroide denominado 2011 MD, un asteroide de 13 metros de diámetro, transita los cielos a una velocidad de entre 250 y 300 kilómetros por hora, recorriendo una órbita más cercana que la distancia a la Luna.

En su máximo acercamiento este cuerpo celeste pasará el lunes 27 de junio a unos 12 mil kilómetros de la Tierra, sobre el Atlántico Sur cerca a la Antártida, sobrevolando a plena luz del día a una distancia 32 veces menor que la existente a la Luna. Según la oficina del programa de objetos cercanos a la Tierra de JPL, probablemente cada seis años en promedio un objeto de este tamaño se acerca así a la Tierra. 2011 MD muestra un período orbital estimado por JPL de Nasa (Otto Matic) en 1,09 años y un brillo que permite valorar un tamaño entre una y dos decenas de metros para el asteroide. El objeto estaría al alcance de telescopios medianos en Colombia, hacia las 4:30 A.M. de este lunes.

El hallazgo fue hecho el miércoles por telescopios robóticos destinados al rastreo de objetos cercanos del programa NEOs. La órbita del asteroide será modificada al deflectarse por efecto del campo gravitacional de la Tierra. Según el JPL, en promedio cada seis años suele acercarse a la Tierra un objeto de ese tamaño, incursionando a las órbitas de los satélites geoestacionarios y chatarra espacial, con baja probabilidad de una colisión. De entrar a la atmósfera un objeto de tamaño similar, se quemaría.

\*Observatorio Astronómico de Manizales OAM, Manizales, 24/06/2011

## **B. Florence se acerca a la Tierra**

El viernes 1 de septiembre de 2017, Florence, el asteroide más grande visto en los últimos 20 años (desde que se estableció el programa de detección), con 4,4 kilómetros de tamaño de acuerdo con las mediciones del telescopio espacial Spitzer de la NASA y de la misión de NEOWISE, y de 858 días de período orbital, pasará 18 veces más lejos que la Luna.

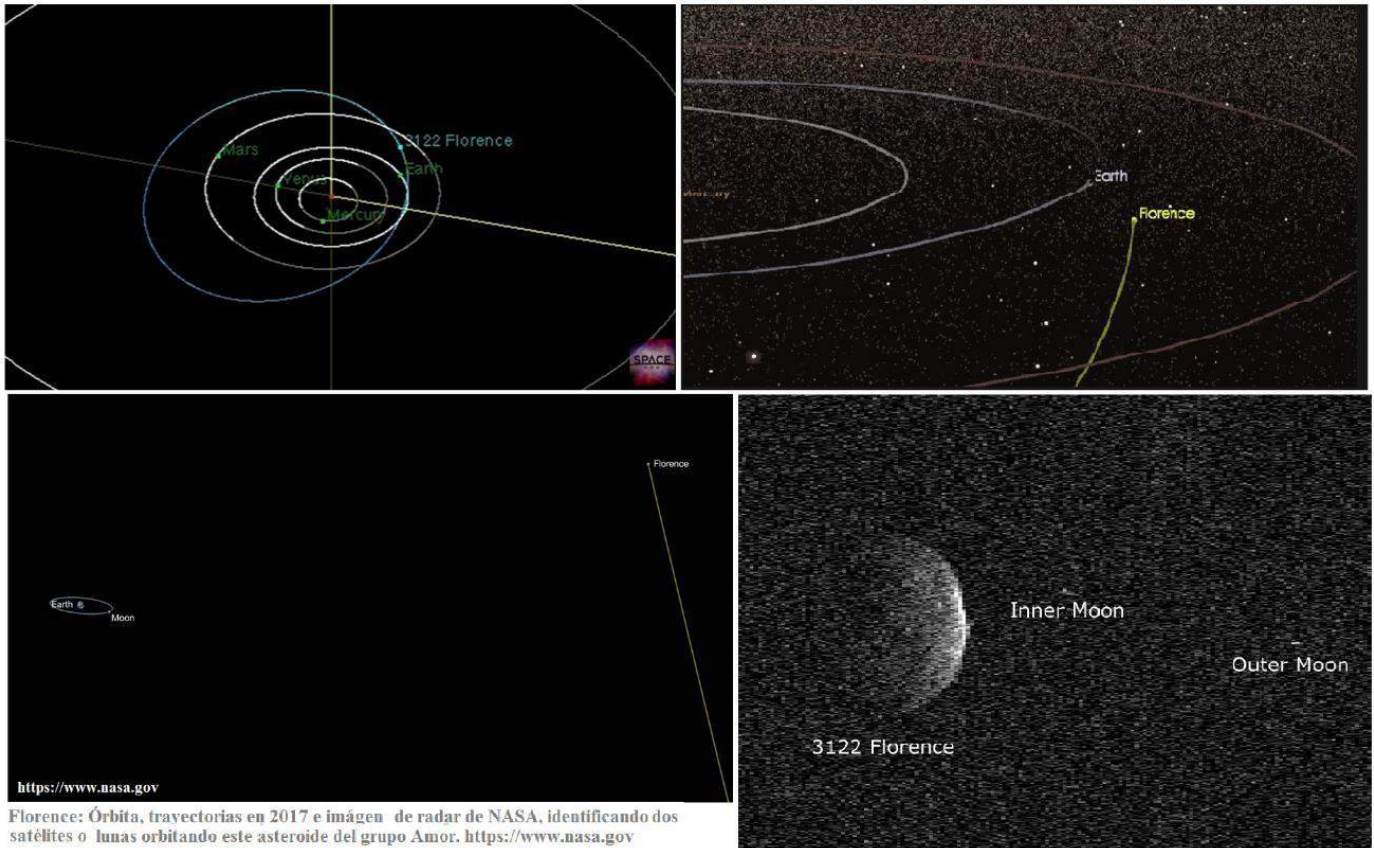


Figura 5.5. Órbita y Trayectoria del asteroide Florence en 2017: Ubicación de la excéntrica órbita de este enorme asteroide del grupo Amor, y paso a gran distancia del sistema Tierra-Luna, en 2017.

Según la NASA, este Objeto Próximo a la Tierra NEO que pasó cerca de la Tierra en el año 1980, y que dentro de 500 años tendría una trayectoria potencialmente peligrosa, será visible con telescopios pequeños atravesando las constelaciones de Piscis Austrinus, Capricornus, Aquarius y Delphinus.

Los expertos podrán reconstruir imágenes de la superficie de ‘Florence’ desde el radiotelescopio de Arecibo, con una precisión de al menos 10 metros. De otro lado, la NASA dio a conocer que el próximo NEO en rozar nuestro planeta es el asteroide 2012 TC4 de 15 metros de tamaño, que pasará el 12 de octubre de 2017 a sólo 50 mil kilómetros, pero que dado su tamaño no representa peligro alguno.



5.8. ANTROPOCENO... CONCEPTO CULTURAL O GEOLOGICO

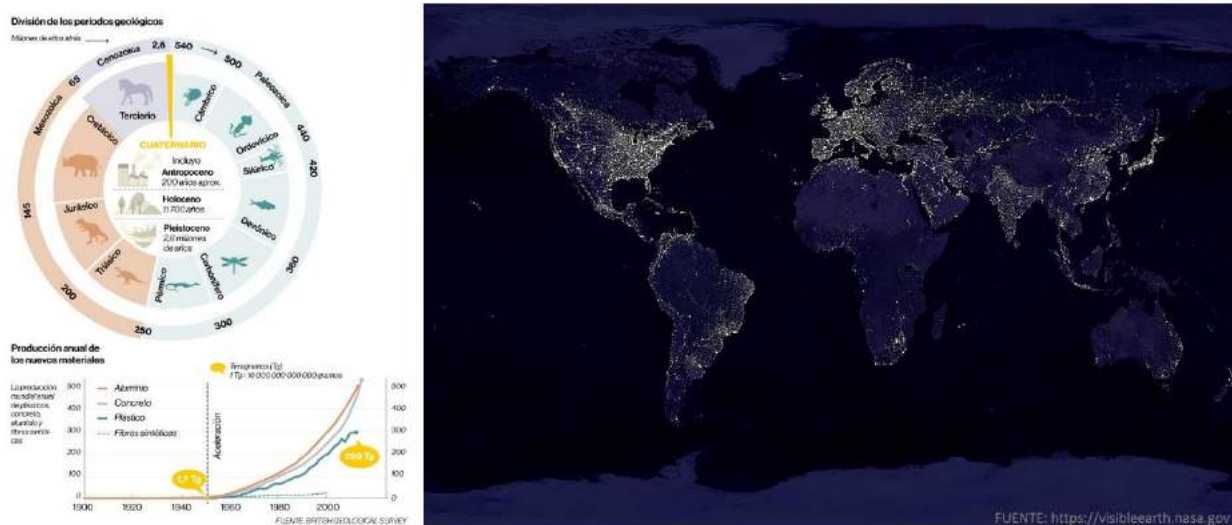


Figura 5.6. Períodos geológicos según The British Geological Survey, y Luces urbanas en La Tierra por investigadores de NASA GSFC y NOAA NGDC.

**RESUMEN:** “Antropoceno”, término que proviene del griego “anthropos” (hombre) y “kainos” (nuevo), designa un nuevo período en el que la historia del planeta y la historia humana confluyen y se entrelazan, o una época en la que los humanos actuando como una fuerza a escala planetaria, provocamos un cambio ambiental sin precedentes. Veamos en que consiste la dual expresión que no sólo invita a pensar en sus orígenes sino también en nuestro futuro.

En 2000 el Nobel de química Paul J. Crutzen y el Profesor de la Universidad de Michigan Eugene F. Stoermer, propusieron el Antropoceno en la escala del tiempo geológico, como una época asociada a la presencia de los seres humanos en el planeta. No obstante, darle sentido al término supone tener evidencias estrato-cronográficas, como marcadores de un fenómeno de extensión global. Aunque la época propuesta partiría del comienzo de un impacto humano significativo en la geología y los ecosistemas de la Tierra, desde la filosofía y otras disciplinas asociadas a las ciencias del comportamiento -antropología, ciencias políticas y sociología-, el Antropoceno ofrece múltiples miradas dado su carácter dual geológico y cultural.

Así se trate de sustituir el Holoceno que es la época posglaciar que surge hace 11700 años como subperíodo del Cuaternario en la historia terrestre, o de insertar una subdivisión al Holoceno, para empezar

veamos, entre otros impactos de la especie humana que servirían de punto de partida, el cambio climático antropogénico, ya como fenómeno que podría estar asociado al surgimiento de la Revolución Agrícola ocurrida entre 12000 a 15000 años atrás; como un fruto de la Revolución Industrial del Siglo XVIII, o como una consecuencia de la Gran Aceleración de 1945.

Uno, el advenimiento de la Revolución Agrícola en el Neolítico, porque tiene como antecedentes la invención de los calendarios y como consecuencia el surgimiento de los poblados. La agricultura y la ganadería empezaron en diferentes lugares del planeta de manera independiente y en distintas fechas; por ejemplo, a diferencia de egipcios y babilonios que cultivaron el trigo, posteriormente incas y mayas - quienes también desarrollaron sus calendarios basados en el Sol y en la Luna-, cultivaron el maíz. La dificultad de esta propuesta, es la falta de uniformidad temporal del proceso, que si bien explotó 8000 años aC en Mesopotamia y Egipto, tardó hasta el 6000-5000 aC en India y China, hasta el 4500 aC en Europa, y hasta el 3000- 2500 aC en África y América.

Dos, en cuanto a la Revolución Industrial relacionada con la era del vapor, por tratarse de la mayor transformación de la humanidad desde el Neolítico, fruto del cambio de una economía rural basada fundamentalmente en la agricultura y el comercio, a otra economía de carácter urbana, industrializada y mecanizada, lo que conduce a un incremento espectacular de la población y del per cápita a partir de 1800 como nunca en la historia. No obstante, algunos investigadores contra argumentan que las implicaciones ambientales, fueron graduales.

Y tres, respecto a la Gran Aceleración, se arguye el impacto del incremento en un tercio de la concentración del dióxido de carbono en la atmósfera por el uso de combustibles fósiles, con lo cual se ha debilitado la capa de ozono sobre la Antártida, aunque las fracciones más pequeñas son el resultado de la urbanización y deforestación. Al respecto, podemos señalar que pese a la presión ejercida por la humanidad en la naturaleza, haciendo que el planeta se caliente, el nivel medio del mar se eleve y los océanos se acidifiquen, los hechos globales aunque notorios, materialmente no constituyen evidencia estratigráfica.

La inexistencia de capas en secuencia como prueba material de que la humanidad ha logrado convertirse

## U.N. de Colombia

## GUÍA ASTRONÓMICA

en una fuerza geológica de ámbito planetario, invita a mirar otras causas de cambios dramáticos, diferentes a la biodiversidad (extinción del Mamut), la bioquímica de los mares (acidificación) y la físico-química atmosférica (gases de invernadero), para soportar el Antropoceno en evidencias geológicas de origen antrópico: de ahí que se proponga la era atómica por las huellas radiactivas de restos nucleares o los “plastiglomerados” como depósitos de residuos de aluminio, hormigón y plástico, fruto de la actividad humana.

Si algo en común tienen algunos de estos fenómenos, sin capa rocosa como testimonio, es que varias de las consecuencias más sobresalientes se asocian a las emisiones de CO<sub>2</sub>, o a eventos de naturaleza funesta, donde sobresale el actual modelo energívoro y consumista que se expresa en una huella hídrica y ecológica que supera la biocapacidad del Planeta, razón por la cual, el fin de este Antropoceno podría marcarlo el cambio de nuestro modelo de desarrollo, si es que no queremos la desaparición de la vida comprometiendo la especie humana, de persistir en una vocación suicida.

\* [Ref.: La Patria. Manizales, 2018.10.22].

### Lecturas complementarias N°5:

<p><u><a href="#">Acuerdo Climático: avance necesario pero insuficiente.</a></u></p> <p><u><a href="#">Acuerdo sectorial ganadero.</a></u></p> <p><u><a href="#">Agua y Clima en la Ecorregión Cafetera.</a></u></p> <p><u><a href="#">Árboles, poblaciones y ecosistemas.</a></u></p> <p><u><a href="#">Bosques en la cultura del agua.</a></u></p> <p><u><a href="#">Bosques para la Estabilidad del Medio Ambiente.</a></u></p> <p><u><a href="#">Calentamiento global.</a></u></p> <p><u><a href="#">Cambio climático y gestión ambiental en Caldas.</a></u></p> <p><u><a href="#">Clima, deforestación y corrupción.</a></u></p> <p><u><a href="#">Colombia biodiversa: potencialidades y desafíos.</a></u></p> <p><u><a href="#">Colombia, país de humedales amenazados.</a></u></p> <p><u><a href="#">Cuatro PNN, patrimonio natural de la Ecorregión Cafetera.</a></u></p> <p><u><a href="#">Daño a reserva forestal que protege a Manizales.</a></u></p> <p><u><a href="#">Desarrollo urbano y huella ecológica.</a></u></p>	<p><u><a href="#">Degradación del hábitat y gestión ambiental.</a></u></p> <p><u><a href="#">Desafíos económicos post-pandemia.</a></u></p> <p><u><a href="#">Día Internacional de La Tierra – Colombia.</a></u></p> <p><u><a href="#">Día mundial del medio ambiente: El Universo.</a></u></p> <p><u><a href="#">Dinámicas del clima andino colombiano. Dinámica económica del Eje Cafetero.</a></u></p> <p><u><a href="#">Dinámicas territoriales y Paisaje Cultural Cafetero.</a></u></p> <p><u><a href="#">Economía colombiana: crisis y retos. Ecorregión Cafetera y Bioturismo.</a></u></p> <p><u><a href="#">Ecorregión Cafetera y Bioturismo. Huella hídrica en Colombia.</a></u></p> <p><u><a href="#">El ocaso del bosque andino y la selva tropical.</a></u></p> <p><u><a href="#">Eje Cafetero: construcción social e histórica del territorio.</a></u></p> <p><u><a href="#">Elementos de Astrofísica y Las Estrellas.</a></u></p> <p><u><a href="#">F J de Caldas y J Garavito Armero.</a></u></p>	<p><u><a href="#">La economía azul en la esfera de la producción.</a></u></p> <p><u><a href="#">Las cuentas del agua.</a></u></p> <p><u><a href="#">Manizales, ¿ciudad del agua?</a></u></p> <p><u><a href="#">Manizales: Foro del Agua 2019.</a></u></p> <p><u><a href="#">Magdaleneando hasta el Tolima Grande.</a></u></p> <p><u><a href="#">Nuestras aguas subterráneas.</a></u></p> <p><u><a href="#">Nuestro frágil patrimonio hídrico.</a></u></p> <p><u><a href="#">Patrimonio hídrico: carencias en la abundancia.</a></u></p> <p><u><a href="#">Por falta de bosques con el agua al cuello.</a></u></p> <p><u><a href="#">¿Regresión ambiental en la Reserva de Río Blanco?</a></u></p> <p><u><a href="#">Riesgos para el agua en la ecorregión cafetera de Colombia.</a></u></p> <p><u><a href="#">Ríos urbanos para Manizales.</a></u></p> <p><u><a href="#">Un canal bioceánico por el Chocó biogeográfico.</a></u></p> <p><u><a href="#">¿Un mega-puerto en bahía Málaga?</a></u></p>
---	--	---

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
COLOMBIA (1867-2017)**



**GUÍA ASTRONÓMICA**

**Gonzalo Duque-Escobar  
MANIZALES, 2020**

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3252>

Anexo 1: Colombia tropical: ¿y el agua qué?.	Anexo 12: La Luna
Anexo 2: Calentamiento global en Colombia	Anexo 13: Cultura y Astronomía (C&A)
Anexo 3: Aspectos geofísicos y amenazas naturales en los Andes de Colombia.	Anexo 14: Astronomía en La Edad Media y el Renacimiento.
Anexo 4: El camino a las estrellas.	Anexo 15: Sol, lunas y planetas.
Anexo 5: Isaac Newton	Anexo 16: Manual de geología para ingenieros
Anexo 6: Albert Einstein.	Anexo 17: Riesgo sísmico: los terremotos.
Anexo 7: Stephen Hawking	Anexo 18: CTS, Economía y Territorio.
Anexo 8: Geotecnia para el trópico andino.	Anexo 19: Cultura y Turismo en Caldas.
Anexo 9: Preservación Ambiental e Hídrica del Paisaje Cultural Cafetero.	Anexo.20: El Río Cauca y el desarrollo de la región.
Anexo 10: Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial.	Anexo 21: Videos: Temas de Astronomía y Medio Ambiente.
Anexo 11: Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia.	Anexo.22: UMBRA: la Ecorregión Cafetera en los Mundos de Samoga.
Enlaces U.N.: Textos “verdes”	<b>El Autor: Gonzalo Duque-Escobar</b>

**HOME:**

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3252>

CONTENIDO: PRESENTACIÓN. GUÍA Nº 1. HISTORIA DE LA ASTRONOMÍA. GUÍA Nº 2. COORDENADAS ASTRONÓMICAS. GUÍA Nº 3. ELEMENTOS DE MECÁNICA PLANETARIA. GUÍA Nº 4. TIEMPO Y CALENDARIOS. GUÍA Nº 5. EL SISTEMA SOLAR. GUÍA Nº 6. SOL, LUNAS Y PLANETAS. GUÍA Nº 7. COSMOGRAFÍA. GUÍA Nº 8. ELEMENTOS DE ASTROFÍSICA. GUÍA Nº 9. LAS ESTRELLAS. GUÍA Nº 10. LAS GALAXIAS. GUÍA Nº 11. EL UNIVERSO. GUÍA Nº 12. TEORÍAS COSMOGÓNICAS. GUÍA Nº 13. ASTRONOMÍA EN COLOMBIA. BIBLIOGRAFÍA

**A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.**





## TEORÍAS ACERCA DE LA FORMACIÓN DEL SISTEMA SOLAR

**Teoría Infinitesimal (Evolutiva)**, de Immanuel Kant, 1755. Supone el proponente la existencia de polvo describiendo órbitas. Posteriormente esta nube de materia en suspensión se compacta formando los miembros del sistema solar.

**Teoría de la Nebulosa (Evolutiva)**, de Simón Laplace, 1796. Supone una bola de gas caliente en rotación; al enfriarse la masa sufre achatamiento y de éste modo se desprenden del sistema, anillos. Por cada anillo ecuatorial, separado de la nebulosa, se forma un planeta del sistema solar.

**Teoría Planetesimal (Catastrófica)**, de Chamberlan-Moulton, 1905. Supone una estrella que se aproxima al Sol, para arrancarle hinchazones ígneas; estas explosiones levantan materia; pero los brazos que caen y chocan con brazos en ascenso, resultando de las colisiones pequeñas esferas de tamaños variables

(planetesimales) y órbitas diferentes, que chocan para formar planetas.

**Teoría de la Gota (Catastrófica)**, de Jeans-Jeffreys, 1919. Recoge las dos teorías anteriores; la estrella invasora que aproximarse al Sol, le arranca una inmensa gota de gas en estado caliente que, al enfriarse, se fragmentará produciendo esferas de tamaño ordenadamente variable (planetas).

**Teoría Magnetohidrodinámica (Evolutiva)**, de Hoyle, 1960. Las teorías evolutivas habían perdido su vigencia, porque no explicaban por qué, mientras el Sol tiene el 99.9% de la masa del sistema solar, en los planetas se concentra el 98.0% del momento cinético; ello da origen a teorías catastróficas que resuelven el problema, pero la magnetohidrodinámica salva la dificultad y se regresa a las teorías evolutivas.

Dice el principio que: "Los gases responden a las leyes de la gravedad, la presión y la rotación, cuando se encuentran en un campo magnético sostenido por una corriente eléctrica", y esa ley gobierna las nubes de polvo compuestas de gases ionizados en rápida rotación.

La teoría presupone que, a través de esos gases que invadían el espacio, corrían líneas de fuerza magnetohidrodinámica, a manera de hilos largos y elásticos; en las partes internas de los filamentos, el gas era más lento que en las porciones exteriores. Con el giro no rígido, se favorecen las turbulencias dentro del sistema, provocándose el enroscamiento y alargamiento de los hilos en espiral, y al mismo tiempo, una transferencia del momento angular hacia las porciones exteriores, donde se formarán posteriormente los planetas; todo, a expensas de la parte central, enriquecida de masa y donde se formará el Sol.

## **6.1. ESTRUCTURA DE LOS PLANETAS DEL SISTEMA SOLAR**

6.1.1 Estructura interna de los planetas: En la fig. 6.1 se han igualado los radios de todos los planetas, de modo que se exprese la extensión relativa de las estructuras.

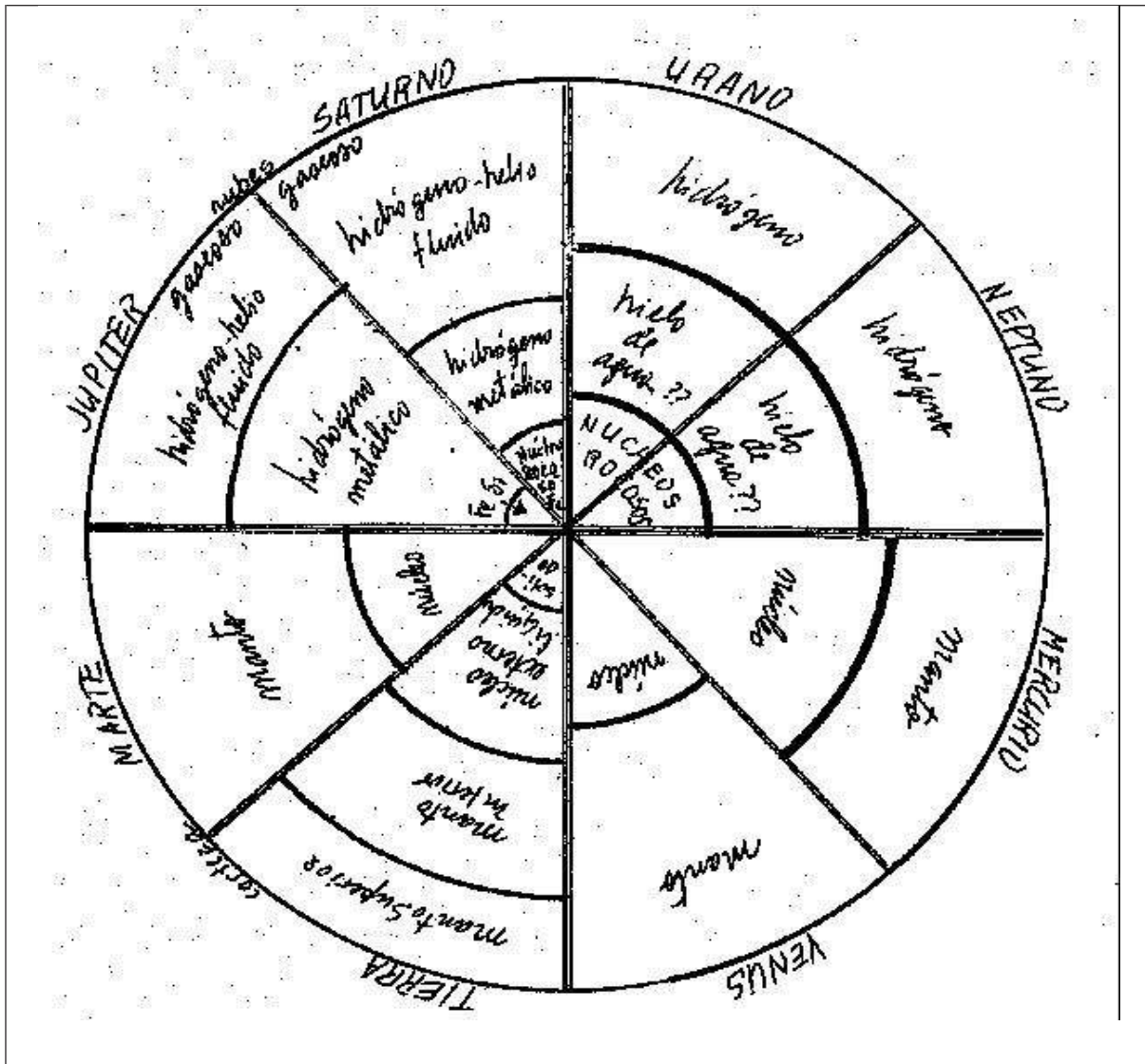


Figura 6.1 Estructura sólida de los planetas. Adaptado de Sol, lunas y planetas, de Erhard Kepler.

6.1.2 Las atmósferas de los planetas

Cuadro 6.1 Estructura de las atmósferas del sistema solar. Adaptado de Sol, lunas y planetas

Atmósferas en el Sistema Solar										
Planetas										
	Venus	Tierra	Marte	Júpiter	Saturno	Urano	Neptuno	Io	Ganímides	Titán
100	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> H <sub>2</sub> He	N <sub>2</sub> O <sub>2</sub> Ar	He	He	He	He			
90		O <sub>2</sub>								
80										
70	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	e x o s f	N <sub>2</sub>
60										CH <sub>4</sub>



50									e	
40									r	
30									a	
20										
10										
Otros	HCl	H <sub>2</sub> O	CO	CH <sub>4</sub>	NH <sub>3</sub>					C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>
	He	N <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	NH <sub>3</sub>	PH <sub>3</sub>					C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>
	HF	CO	(1-4%)	CO	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>					C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>
gases	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	CH <sub>4</sub>	Ne	GeH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>					HCN
		O <sub>3</sub>	Kr	PH <sub>3</sub>	CH <sub>4</sub>					C <sub>3</sub> H <sub>4</sub>
			Xe	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>4</sub>					C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>
				C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>					

			O <sub>3</sub>							
Aero-sol	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Gotas	H <sub>2</sub> O Hiel o Polvo o	H <sub>2</sub> O Hielo CO <sub>2</sub> Hielo Polvo	NH <sub>3</sub> Hielo	NH <sub>3</sub> CH <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O Hielo	CH <sub>4</sub> Hielo NH <sub>3</sub> Hielo	CH <sub>4</sub> Hiel o NH <sub>3</sub> Hiel o			Hielo

Fuente. Erhard Keppler.

Es notable la **diferencia entre las atmósferas** de los planetas "terrestres" y "jovianos". La naturaleza química de las densas atmósferas de los segundos, se debe al hidrógeno y el helio de la nube primogénita, que no pudo escapar de los enormes campos gravitatorios. La gran abundancia de hidrógeno, condujo al hidrógeno molecular, metano, amoníaco y agua resultando que no haya en la actualidad carbono, nitrógeno ni oxígeno libres. En los primeros planetas, si la atmósfera primogénita emuló las anteriores, en su segunda fase, salvo Mercurio que no tiene atmósfera, logran una atmósfera que depende de la naturaleza de la actividad volcánica y de las condiciones termodinámicas y gravitacionales, según la distancia que le separe del Sol y las velocidades de escape y cósmica de cada gas y en cada planeta.

**6.2. ESTRUCTURA DE LAS LUNAS PRINCIPALES**

**6.2.1 Estructura interna de las lunas del sistemasolar**



6.2.2 La Luna

La Luna es el único satélite de la Tierra, y después del Sol, el astro más importante en la historia de la humanidad. La intensidad de la luz solar, que refleja la Luna sobre la Tierra durante su fase llena, es 465 mil veces menor que la del Sol, siendo su poder reflector del orden del 12%. La atracción que la Luna y el Sol ejercen sobre las masas líquidas de la Tierra da lugar a las **mareas**, explicadas por Lagrange y Laplace.

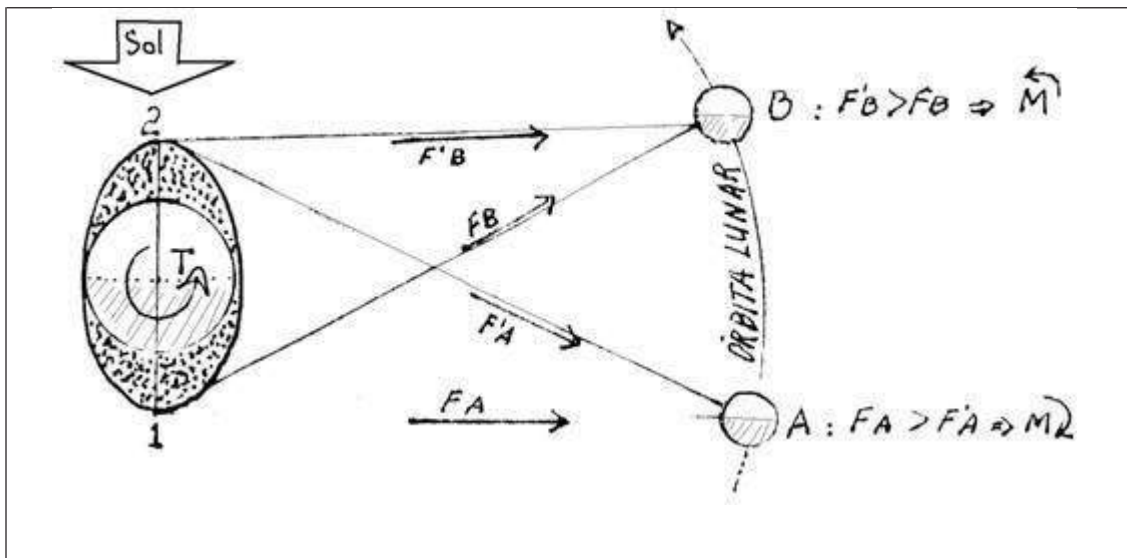


Figura 6.3 Efecto de marea sobre el planeta Tierra: las masas 1 y 2 de la Tierra son atraídas por la Luna en A y en B, con diferente fuerza. Por ello se genera un momento, contrario en A y favorable en B, que afecta la rotación de la Tierra, cuyo sentido se muestra en T.

Como la Luna dista mucho menos de la Tierra que el Sol, su acción a pesar de tener menos masa, es 2,5 veces mayor que la de éste astro. La distancia Tierra-Luna es, por término medio, 384.400 km, variando de 363 mil a 406 mil entre el perigeo y el apogeo.

Esta órbita elíptica está inclinada  $5^{\circ} 8' 30''$  sobre la eclíptica. El diámetro de la Tierra es 3,67 veces el de la Luna su masa 8,5 veces el de ésta y su volumen 50 veces mayor. A los anteriores valores corresponde una densidad media mayor del 61% respecto a la Tierra y una aceleración de la gravedad en su superficie de  $1/6$  la existente en la Tierra.

El frotamiento producido por las mareas sobre la corteza de la Tierra, provoca una aceleración aparente en el movimiento de traslación de la Luna. Esta aceleración secular, descubierta por Halley, es del orden de los 10 segundos por siglo.

**Cartografía de la Luna.** Los detalles más gruesos de la Luna se pueden observar a simple vista. Sobre todo, alrededor de la época de luna llena se pueden reconocer claramente varias manchas oscuras. Tras la invención del antejo, Galileo, Scheiner y otros, descubrieron entre 1610 y 1620 diferencias de altura y profundidad, así como montañas y cráteres lunares, naciendo así los primeros dibujos de la Luna, hechos con ayuda del antejo.

Pero fue J. **Hevelius** quien confeccionó la primera carta de conjunto realmente utilizable (1647), que tenía un diámetro de 25 cm. A los accidentes de la superficie lunar les puso nombres que recuerdan a los paisajes y mares terrestres, siguiendo la antigua idea de que la Luna es una imagen especular de la superficie terrestre. Pero sus denominaciones no se conservan en nuestros días.

La nomenclatura de los paisajes lunares, que hoy sigue vigente, data de G. B. Riccioli y de su mapa lunar de 1651. El primer atlas lunar fotográfico es el de M. Loewy y P. H. Puisex (1897).

#### 6.4 TOPOGRAFÍA DE LA LUNA.

Al examinar la Luna, básicamente se pueden distinguir las siguientes estructuras:

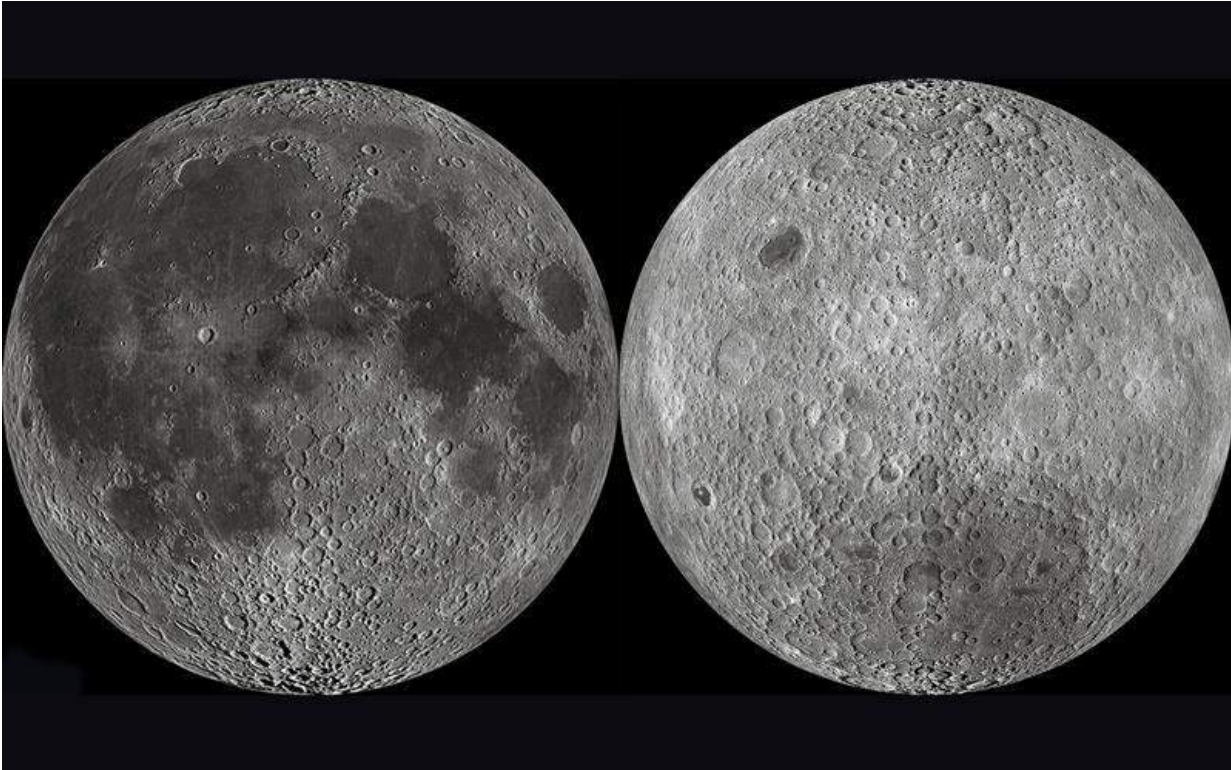


Figura 6.4. Las dos caras de La Luna: Cara visible (Izq) y oculta (Der), en: <http://z2i.org/>

**Maria** (mares): son las regiones oscuras. No muestran ningún relieve que llame la atención. Los maria han recibido nombres latinos: Mare Crisium, Mare Foecunditatis, Mare Frigoris, Mare Humorum, Mare Imbrium, Mare Nectaris, Mare Nubium, Mare Serenitatis, Mare Tranquillitatis, Mare Vaporum, Oceanus Procellarum, Sinus Iridium, Sinus Roris, Sinus Medii.

**Terrae:** se utiliza sólo por oposición terminológica al de mar, pues se sabe que en la Luna no existe división entre mares y continentes. Los continentes o terrae son las zonas claras de la Luna, tal y como se muestra a simple vista. Al telescopio aparecen como regiones accidentadas de montañas y cráteres. En general no existen nombres especiales para cada zona lunar.

**Estructuras menores.** Son los cráteres, montañas anulares y planicies amuralladas que presenta la Luna como características de detalle a partir de las numerosas formas montañosas; entre ellas tenemos:

1. **Formaciones circulares** muy pequeñas de diámetro inferior a un kilómetro. Son pequeños cráteres sin pico central.
2. **Cráteres** en sentido estricto. El diámetro oscila entre 1 y 20 Km. algunos poseen picos centrales.
3. **Cúpulas** con diámetros de 10 a 20 Km y alturas de 250 a 500 m. Muchas muestran en la cúspide aberturas de unos 1.000 m.
4. **Anillos montañosos.** Su diámetro es de 20 a 100 Km. El perímetro puede ser circular o poligonal.
5. **Planicies amuralladas.** Son gigantes coscos circulares o poligonales de diámetro superior a 100 Km.

**Grietas, valles y fallas.** Se trata de estructuras lineales que en ocasiones se agrupan para formar sistemas. El nombre de grietas designa zanjas de 1 km aproximadamente de anchura y varios de longitud, que siguen un curso en parte recto y una parte zigzagueante. Entre las **grietas** más notables están la Hyginus, la grieta Ariadaeus, y la de Hypatia, junto al cráter Delambre. El valle de Schröter, al norte de Heródoto, es, pese a su nombre, también una grieta.

Los valles son **depressiones** de gran anchura; un ejemplo es el valle Alpino, que es una fosa tectónica. El valle Rheíta parece ser, por el contrario, la fusión de varios cráteres vecinos. Las fallas son **saltos** del relieve en forma de escalón. El más conocido es el Muro Recto, con una longitud de 150 km y una anchura de 300 metros.





**Cordilleras.** Junto a las formas montañosas circulares, existen también cadenas alargadas. Se hallan, por ejemplo, los Cárpatos, los Apeninos, el Cáucaso, los Alpes y el Jura, ordenados aproximadamente en semicírculo. La máxima longitud la ostentan los Apeninos con 1000 km y alturas máximas de 6500 m.

**Atmósfera.** La simple inspección óptica muestra que la Luna **no posee atmósfera**. No se observa la formación de nubes ni fenómenos similares y en los límites, entre el lado diurno y nocturno, no se observa ningún efecto crepuscular. Otra prueba se deriva de la ocultación de una estrella por el disco lunar: la estrella, que viene a ser puntiforme, desaparece repentinamente y vuelve a emerger de un sólo golpe, por el lado opuesto. La atmósfera lunar, de existir realmente trazas de ella, no podría tener una densidad mayor que media bimonésima de la densidad terrestre. Ciertos procesos de desgasificación en el interior de la Luna pueden producir pasajeramente una atmósfera extremadamente tenue. Pero la velocidad de escape de la Luna es sólo de 2,37 km/s, de modo que esos gases escaparían enseguida de la zona de atracción lunar. La falta de atmósfera indica también una falta de agua, porque de haberla, tendría que evaporarse y formar una envoltura de vapor de agua, que escaparía enseguida al espacio.

**Las temperaturas lunares.** La temperatura en la superficie sufre fortísimas variaciones, entre la noche y el día, como consecuencia de la falta de atmósfera. Los rayos solares caen, durante el día, directamente sobre el suelo lunar y calientan los minerales hasta **+130°C**. De noche, se vuelve a radiar el calor al espacio y la temperatura de las rocas superficiales, baja hasta **-171°C**.

**El origen de los paisajes lunares.** Existen dos teorías contrapuestas, la del origen volcánico y la de origen meteorítico. Estas dos teorías no se excluyen mutuamente. Hay signos de formas especiales de origen volcánico en la luna, por ejemplo los "domes". No se excluye la posibilidad de cráteres meteoríticos, teniendo en cuenta la posibilidad de tales colisiones, en el largo período de existencia de la Luna.

**Origen volcánico de las formaciones lunares:** según esta teoría, los cráteres, por ejemplo, han surgido por erupción de un volcán, por ascensión y explosión de pompas gaseosas en la corteza lunar (todavía plástica en su estado primitivo) o por procesos tectónicos bajo el influjo de las mareas sobre la Luna. El diámetro de algunos cráteres sobrepasa los 100 km de diámetro.

**Origen meteorítico de las formaciones lunares:** existen en la Tierra bastantes cráteres de meteoritos y sus formas concuerdan con los cráteres lunares. Las estrías radiales concéntricas, parecen evidenciar esos colapsos, sobre todo, frecuentemente, por el costado de la Luna oculto a la Tierra, donde ésta no le sirve de escudo al satélite, pero sí la Luna a nuestro Planeta.

## 6.5. IMÁGENES DE NUESTRAS LUNAS

Un balance somero sobre las lunas de los planetas del sistema solar, nos permite señalar esta distribución:

- Mercurio: Ninguna.
- Venus: Ninguna.
- Tierra: 1.
- Marte: 2.
- Júpiter: 63.
- Saturno: 62.
- Urano: 27.
- Neptuno: 13.

Ahora, los planetas enanos, también poseen lunas: veamos el año de descubrimiento, su descubridor y su diámetro:

**Ceres** - 0 lunas

**Plutón** - 5 Lunas, (veamos tres de ellas)

Charon (1978) J. Christy; 1207 km

Nix (2005) H.A. Weaver, S.A. Stern, et al.; 44-130 km

Hydra 2005 H.A. Weaver, S.A. Stern, et al.; 44-130 km

**Haumea** - 2 lunas

Namaka (2005) H.A. Weaver, S.A. Stern, et al.; ~170 km

Hi'iaka (2005) H.A. Weaver, S.A. Stern, et al., ~310 km

**Makemake** - 0 lunas

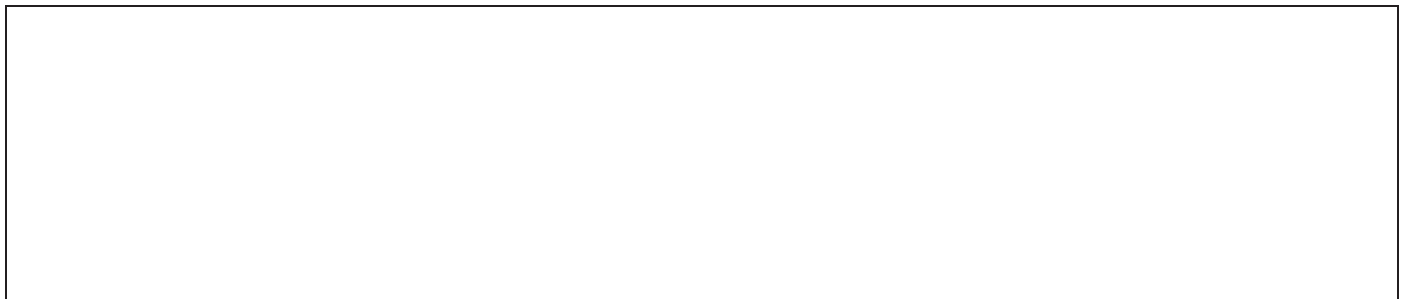
**Eris** - 1 Luna

Dysnomia (2005) M.E. Brown, M.A. van Dam, A.H. Bouches, D. Le Mignant; ~300 km

Veamos algunas imágenes de nuestras lunas, tomadas de la Wikipedia:

			
<p style="text-align: center;"><b>Io</b> (satélite de Júpiter)</p>	<p style="text-align: center;"><b>Luna</b> (satélite de la Tierra)</p>	<p style="text-align: center;"><b>Europa</b> (satélite de Júpiter)</p>	<p style="text-align: center;"><b>Tritón</b> (satélite de Neptuno)</p>
			
<p style="text-align: center;"><b>Japeto</b> (satélite de Saturno)</p>	<p style="text-align: center;"><b>Umbriel</b> (satélite de Urano)</p>	<p style="text-align: center;"><b>Ariel</b> (satélite de Urano)</p>	<p style="text-align: center;"><b>Dione</b> (satélite de Saturno)</p>

			
<b>Proteo</b> (satélite de Neptuno)	<b>Mimas</b> (satélite de Saturno)	<b>Hiperión</b> (satélite de Saturno)	<b>Febe</b> (satélite de Saturno)



			
<b>Fobos</b> (satélite de Marte)	<b>Deimos</b> (satélite de Marte)	<b>Metone</b> (satélite de Saturno)	<b>Calipso</b> (satélite de Saturno)
			

	<p><b>Ganímedes</b> (satélite de Júpiter)</p> 	<p><b>Titán</b> (satélite de Saturno)</p> 	<p><b>Calisto</b> (satélite de Júpiter)</p> 	<p><b>Atlas</b> (satélite de Saturno)</p> 
	<p><b>Titania</b> (satélite de Urano)</p> 	<p><b>Rea</b> (satélite de Saturno)</p> 	<p><b>Oberon</b> (satélite de Urano)</p> 	<p><b>Telesto</b> (satélite de Saturno)</p> 
				
	<p><b>Tebe</b> (satélite de Júpiter)</p>	<p><b>Prometeo</b> (satélite de Saturno)</p>	<p><b>Pandora</b> (satélite de Saturno)</p>	<p><b>Helena</b> (satélite de Saturno)</p>

...







	<b>Tetis</b> (satélite de Saturno)	<b>Encélado</b> (satélite de Saturno)	<b>Miranda</b> (satélite de Urano)	<b>Plutón y Caronte</b>
				
	<b>Jano</b> (satélite de Saturno)	<b>Amaltea</b> (satélite de Júpiter)	<b>Epimeteo</b> (satélite de Saturno)	<b>Caronte</b> (satélite de Plutón)
				
	Comparación (de una zona) de <u>Júpiter</u> y <u>sus cuatro satélites más grandes</u> .			Comparación de la Tierra y la Luna, con Plutón y Caronte

Figura 6.6. Fotografías de satélites naturales del Sistema Solar; Imágenes de lunas en <https://es.wikipedia.org> y en [Misiones Cassini y Galileo: viaje a los sistemas Jovianos](#), Por: Claudia Torres Arango. Curso de Contexto en Astronomía, OAM de la U.N. de Colombia.

## 6.6. EXOPLANETAS

Denominación para los planetas que orbitan otras estrellas diferentes del Sol. También se conocen como Planetas Extrasolares.

Actualmente se han descubierto planetas en 77 sistemas diferentes. La tecnología y técnica actuales sólo nos permiten detectar la presencia de planetas jovianos (similares o superiores en masa a Júpiter), aunque existen varios proyectos en marcha que nos permitirán detectar planetas cada vez más similares al nuestro.

Antes de 1980, la búsqueda de exoplanetas fue tema exclusivo de algunos los astrometrístas, por las dificultades tecnológicas inherentes en este campo y el riesgo de descrédito. Pero los anuncios sobre cuerpos masivos orbitando estrellas lejanas, de los últimos años, reúnen evidencias claras, y permiten iniciar clasificaciones astrofísicas precisas de los objetos extrasolares hallados.

Aunque las observaciones realizadas con métodos indirectos han sido aceptadas como evidencias sólidas, también han aparecido cuestionamientos, puesto que las variaciones del espectro de absorción o la masa estimada para los objetos, dan cabida a suponer sistemas dobles y no exoplanetas, lo que solo se podrá dilucidar con nuevos estudios. Pero la mayoría de las evidencias presentadas indican la existencia de algo más que un sistema binario. Por ejemplo, el peculiar movimiento y la masa característicos de un exoplaneta.

En 1998 se observa el primer exoplaneta y a partir de entonces se han detectado evidencias de planetas orbitando estrellas de neutrones o púlsares, como también estrellas enanas, café o marrón, orbitando estrellas comunes y discos protoplanetarios y varios exoplanetas en estrellas semejantes al Sol. Los objetos orbitando púlsares como las enanas café, teóricamente no parecen ser sistemas planetarios y su formación es diferente a la del sistema solar.

Según la Nasa, a junio de 2010 la Sonda Kepler puesta en órbita en marzo de 2009, detectó indicios de 706 exoplanetas nuevos en sus primeros 43 días de funcionamiento, 400 de los cuales con dimensiones entre las de Neptuno y la Tierra, y al menos 60 parecían tener un tamaño similar al de la Tierra.

A mediados del 2017 se habían descubierto 2748 sistemas planetarios conteniendo 3668 cuerpos planetarios, donde 6163 de dichos sistemas son múltiples, y 125 planetas que están encima de las 13 MJ (1 MJ es la masa de Júpiter) son probablemente enanas marrones. Las enanas marrones son objetos subestelares cuya precaria masa, explica la imposibilidad que tiene el astro para mantener reacciones nucleares continuas de fusión del hidrógeno-1 en su núcleo, a diferencia de las estrellas de la secuencia principal.

Veamos a continuación los 101 primeros Exoplanetas descubiertos.

Cuadro 6.3: Masas y órbitas (período en días, valor de a en Unidades astronómicas y de e) características de Planetas Extrasolares. Usando masas estelares derivadas de Hipparcos, metalicidad y evolución estelar.

	Estrella	M sin <i>i</i> ( $M_{jup}$ )	Period <i>o</i> (d)	Semieje mayor UA	Excentricida d	K (m/s)
0	<u>HD73256</u>	1.85	2.548	0.037	0.038	267
1	<u>HD83443</u>	0.35	2.986	0.038	0.00	57.0
2	<u>HD46375</u>	0.25	3.024	0.041	0.02	35.2
3	<u>HD179949</u>	0.93	3.092	0.045	0.00	112.0
4	<u>HD187123</u>	0.54	3.097	0.042	0.01	72.0
5	<u>Tau Boo</u>	4.14	3.313	0.047	0.04	474.0
6	<u>BD-103166</u>	0.48	3.487	0.046	0.05	60.6
7	<u>HD75289</u>	0.46	3.508	0.047	0.01	56.0
8	<u>HD209458</u>	0.63	3.524	0.046	0.02	82.0
9	<u>HD76700</u>	0.19	3.971	0.049	0.00	25.0
10	<u>51 Peg</u>	0.46	4.231	0.052	0.01	55.4
11	<u>Ups And b</u>	0.68	4.617	0.059	0.01	70.2
12	<u>HD49674</u>	0.12	4.948	0.057	0.00	14.3



	Estrella	M sin $i$ ( $M_{\text{jup}}$ )	Period $o$ (d)	Semieje mayor UA	Excentricida $d$	K (m/s)
13	<u>HD68988</u>	1.90	6.276	0.071	0.14	187.0
14	HD168746	0.24	6.400	0.066	0.00	28.0
15	<u>HD217107</u>	1.29	7.130	0.072	0.14	139.7
16	HD162020	13.73	8.420	0.072	0.28	1813.0
17	HD130322	1.15	10.72	0.092	0.05	115.0
18	HD108147	0.41	10.9	0.079	0.20	40.8
19	<u>HD38529b</u>	0.78	14.31	0.129	0.28	54.7
20	<u>55 Cnc b</u>	0.84	14.65	0.115	0.02	72.2
21	<u>GJ 86</u>	4.23	15.80	0.117	0.04	379.0
22	<u>HD195019</u>	3.55	18.20	0.136	0.02	271.0
23	HD6434	0.48	22.09	0.154	0.30	37.0
	<u>HD192263</u>	Not a Planet	24.35	Not a Planet	68.2	
	<u>HD83443c</u>	Not a Planet	29.83	Not a Planet	14.0	
24	<u>GJ876c</u>	0.56	30.12	0.130	0.27	81.0
25	<u>Rho Crb</u>	0.99	39.81	0.224	0.07	61.3
26	<u>55 Cnc c</u>	0.21	44.28	0.241	0.34	13.0
27	HD74156b	1.55	51.60	0.276	0.65	108.0
28	<u>HD168443b</u>	7.64	58.10	0.295	0.53	470.0
29	<u>GJ876b</u>	1.89	61.02	0.207	0.10	210.0
30	<u>HD3651</u>	0.20	62.23	0.284	0.63	15.9
31	HD121504	0.89	64.62	0.317	0.13	45.0
32	HD178911	6.46	71.50	0.326	0.14	343.0
33	<u>HD16141</u>	0.22	75.80	0.351	0.00	10.8
34	<u>HD114762</u>	10.96	84.03	0.351	0.33	615.0
	HD223084	Not a Planet	104.1	Not a Planet		
35	HD80606	3.43	111.8	0.438	0.93	414.0
36	<u>70 Vir</u>	7.41	116.7	0.482	0.40	316.1
37	<u>HD52265</u>	1.14	119.0	0.493	0.29	45.4
38	HD1237	3.45	133.8	0.505	0.51	164.0
39	<u>HD37124b</u>	0.86	153.	0.543	0.2	37.0
40	<u>HD73526</u>	3.63	188.0	0.647	0.52	149.0
41	HD82943c	0.88	221.6	0.728	0.54	34.0
42	HD8574	2.08	228.5	0.77	0.30	65.0
43	HD169830	2.95	230.4	0.823	0.34	83.0
44	<u>Ups And c</u>	1.90	241.3	0.829	0.28	53.9
45	<u>HD12661b</u>	2.30	263.3	0.823	0.35	74.4
46	<u>HD89744</u>	7.17	256.0	0.883	0.70	257.0
47	HD202206	14.68	258.9	0.768	0.42	554.0
48	<u>HD40979</u>	3.16	260.0	0.818	0.26	98.9

	Estrella	M sin $i$ ( $M_{\text{jup}}$ )	Period $o$ (d)	Semieje mayor UA	Excentricida d	K (m/s)
49	<u>HD150706</u>	1.0	264.9	0.82	0.38	33.0
50	<u>HD134987</u>	1.63	265.0	0.821	0.37	53.7
51	<u>HD17051</u>	2.12	312.0	0.909	0.15	63.0
52	<u>HD92788</u>	3.88	337.0	0.969	0.28	113.0
53	<u>HD142</u>	1.36	338.0	0.980	0.37	40.0
54	HD28185	5.70	383.0	1.03	0.07	161.0
55	<u>HD177830</u>	1.24	391.0	1.10	0.40	34.0
56	<u>HD108874</u>	1.65	401.0	1.07	0.20	46.0
57	<u>HD4203</u>	1.64	406.0	1.09	0.53	51.0
58	<u>HD128311</u>	2.63	414.0	1.01	0.21	85.0
59	<u>HD27442</u>	1.32	415.0	1.16	0.06	32.0
60	<u>HD210277</u>	1.29	436.6	1.12	0.45	39.1
61	HD82943b	1.63	444.6	1.16	0.41	46.0
62	HD19994	1.66	454.0	1.19	0.20	42.0
63	HD20367	1.12	500.0	1.28	0.23	27.0
64	<u>HD114783</u>	0.99	501.0	1.20	0.10	27.0
65	HD147513	1.00	540.4	1.26	0.52	31.0
66	<u>Hip75458</u>	8.68	550.0	1.34	0.71	296.0
67	<u>HD222582</u>	5.20	577.1	1.36	0.76	195.69
68	<u>HD23079</u>	2.76	628.0	1.48	0.14	62.0
69	<u>HD160691</u>	1.74	637.3	1.48	0.31	41.1
70	HD141937	9.67	658.8	1.48	0.40	247.0
71	<u>16 Cyg b</u>	1.68	798.4	1.69	0.68	50.0
72	<u>HD4208</u>	0.81	829.0	1.69	0.04	18.3
73	HD114386	0.99	872.0	1.62	0.28	27.0
74	HD213240	4.49	951.0	2.02	0.45	91.0
75	<u>HD10697</u>	6.08	1074.0	2.12	0.11	114.0
76	<u>47 UMa b</u>	2.56	1090.5	2.09	0.06	49.7
77	HD190228	3.44	1112.0	1.98	0.52	89.0
78	<u>HD114729</u>	0.88	1136.0	2.08	0.33	19.0
79	<u>HD2039</u>	5.1	1190.0	2.2	0.69	136
80	<u>HD136118</u>	11.91	1209.0	2.39	0.37	212.0
81	<u>HD50554</u>	3.72	1254.0	2.32	0.51	78.5
82	<u>HD216437</u>	2.09	1293.5	2.38	0.34	37.8
83	<u>Ups And d</u>	3.75	1284.0	2.52	0.27	61.1
84	<u>HD196050</u>	2.81	1300.3	2.41	0.20	49.2
	HD13507	Not a Planet	1318.0	Not a Planet		
85	<u>HD216435</u>	1.23	1326.0	2.6	0.14	20
86	<u>HD106252</u>	6.79	1503.0	2.53	0.57	150.7
87	<u>HD12661c</u>	1.56	1444.5	2.56	0.20	27.4
88	HD23596	8.00	1558.0	2.87	0.31	125.0

	Estrella	M sin $i$ ( $M_{\text{jup}}$ )	Period $o$ (d)	Semieje mayor UA	Excentricida d	K (m/s)
89	<u>HD30177</u>	7.64	1620.0	2.65	0.21	140.0
90	<u>HD168443c</u>	16.96	1770.0	2.87	0.20	289.0
91	<u>HD145675=</u> <u>14 Her</u>	3.90	1775.0	2.87	0.37	70.4
92	<u>HD37124c</u>	1.00	1550.0	2.5	0.40	20.0
93	<u>HD38529c</u>	12.78	2207.4	3.71	0.33	169.1
94	<u>HD72659</u>	2.54	2185.0	3.24	0.18	41.8
95	<u>HD39091</u>	10.39	2280.0	3.50	0.63	194.0
96	<u>HD74156c</u>	7.46	2300.0	3.47	0.40	121.0
97	<u>HD33636</u>	9.3	2440	3.5	0.52	164.0
98	<u>Eps Eri</u>	0.92	2550.0	3.39	0.43	17.5
99	<u>GJ777A</u>	1.15	2613.0	3.65	0.00	17.6
100	<u>47 UMa c</u>	0.76	2640.0	3.78	0.00	11.0
101	<u>55 Cnc d</u>	4.05	5360.0	5.9	0.16	49.3

Fuente: La Búsqueda de Planetas Extrasolares. Universidad de California.

## 6.7. PLANETAS HABITABLES

Si la Tierra tuviese una órbita inferior a la de la zona habitable, se desencadenaría un efecto invernadero similar al observable en Venus, mientras que, si fuese mayor, toda el agua se congelaría. Si bien, una condición necesaria para la vida como la conocemos en la tierra, además de elementos pesados necesarios para la conformación de la biósfera con los seres vivos, es la presencia de agua en estado líquido sobre la superficie del planeta, también cuentan la composición y la presión atmosférica, el tipo de órbita del planeta, la gravedad suficiente para retener la atmósfera, y el flujo de radiación incidente manteniendo niveles de radiación ultravioleta aptos para la vida.

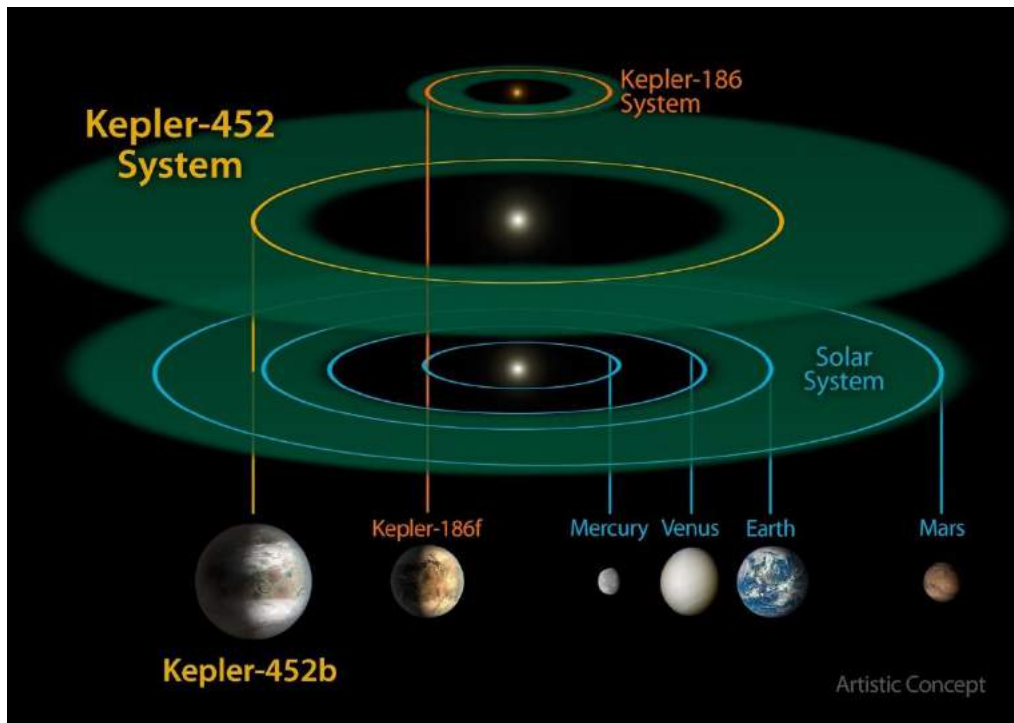


Figura 6.7: Zonas habitables ZH, del Sistema Solar y del Sistema Kepler 452, en NASA.gov

Si en las regiones externas de la galaxia, la metalicidad de las estrellas es demasiado baja para permitir la formación de planetas telúricos como el nuestro, también en las cercanías del núcleo galáctico el ambiente altamente energético sería hostil para la vida.

El Telescopio Espacial Kepler, de la NASA, descubrió el primer planeta de tamaño similar a la Tierra. Dicho cuerpo ubicado en el sistema Kepler-186, ubicado alrededor de 500 años luz de la Tierra, denominado “Kepler-186f, orbita con un período de 130 días la “zona habitable” de una estrella enana M o enana roja, y recibe un tercio de la energía que obtiene la Tierra del Sol. El sistema alberga a otros cuatro planetas con tamaños menores a que 1,5 veces la Tierra, pero demasiado calientes para albergar vida: Kepler-186b, Kepler-186c, Kepler-186d y Kepler-186e, los cuales orbitan su estrella cada 4, 7, 13 y 22 días, respectivamente.

A enero de 2016, había 57 planetas extrasolares potencialmente habitables, candidatos y confirmados, donde se estiman para cada uno varios índices, entre ellos el de similitud que varía de 0 a 1 valorado según su menor o mayor parecido con la Tierra en función del radio, la densidad, la velocidad de escape

y la temperatura superficial del planeta; y la idoneidad para la vegetación calificado en una escala de 0 a 1, según la temperatura superficial y la humedad relativa.

## 6.8 CINCUENTA AÑOS DE LA LLEGADA DEL HOMBRE A LA LUNA

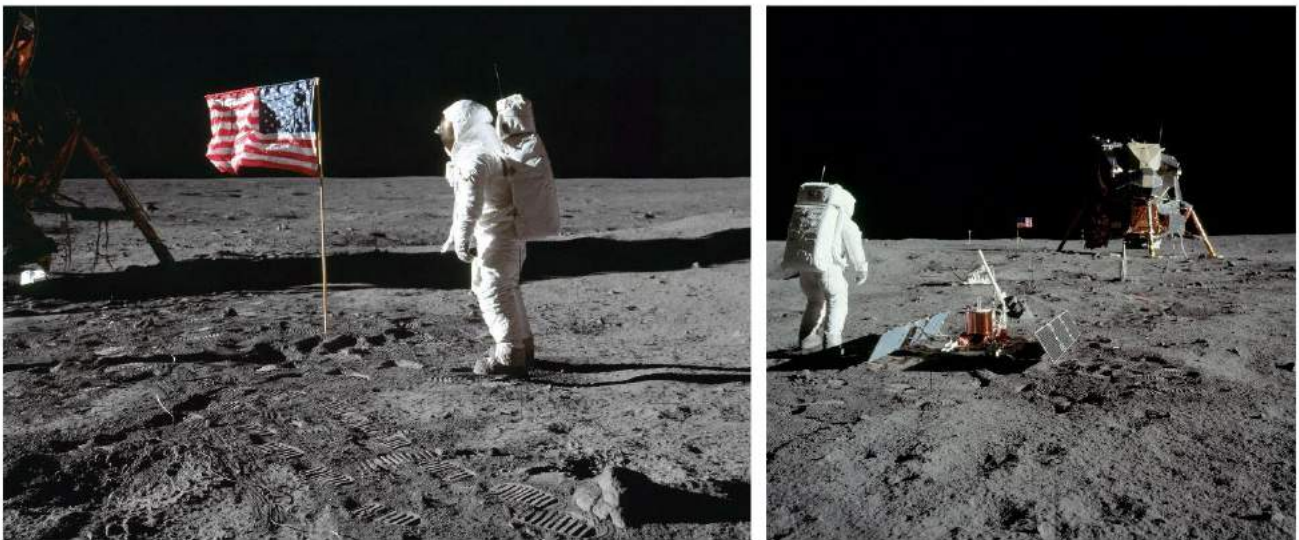


Figura 6.8: Astronautas de Apolo 11 en la Luna. Imágenes: Nasa.gov

Veamos algo sobre esta hazaña que, a un costo de un cuarto del PIB de EE UU y con grandes riesgos, dejó enseñanzas y avances tecnológicos para la medicina aeroespacial, la telemática, la logística y la astronáutica.

Hace 50 años, el 20 de julio de 1969, cuando la nave propulsada por un cohete Saturno V, que despegó desde Cabo Cañaveral (Florida) llevando a bordo a los astronautas Neil Armstrong, Edwin Aldrin y Michael Collins, la humanidad hizo realidad uno de sus mayores sueños: recorrer 380 mil kilómetros desde la Tierra para llegar a nuestro satélite natural. Posó al hombre en este lugar sin atmósfera, con escasez de agua y con una noche de 15 días terrestres de duración, dado el movimiento sincrónico del astro, aunque con una baja gravedad conveniente para despegar, y traerlo a salvo a la Tierra.

Todo comenzó en 1961, cuando el presidente de EEUU, John F. Kennedy, anunció su intención de enviar astronautas a la Luna antes de que finalizara la década. Desde el primer satélite artificial lanzado al espacio en octubre de 1957, el Sputnik 1 de la Unión Soviética, hasta ese histórico 20 de julio de 1969, transcurrieron 12 años, lo que da una idea de la vertiginosa carrera espacial que mantuvieron soviéticos y americanos.

La hazaña americana finalizó el 24 de julio, cuando los astronautas regresaron con el módulo de mando a la Tierra, amarizando en el Pacífico cerca de Hawái.

...

### **La caminata**

El viaje tomó alrededor de tres días, para que la nave espacial recorriera la distancia Tierra-Luna. En el cuarto día del viaje, Armstrong y Aldrin pasaron al módulo lunar Eagle, mientras que Collins permanecía en el módulo de mando Columbia. El Eagle se separó del módulo de mando e inició su descenso para posarse en el Mar de la Tranquilidad. Pasadas unas horas destinadas a igualar la presión, ambos astronautas se dispusieron a pisar la superficie selenita: el primero fue Armstrong, tal cual lo observamos por televisión millones de personas de todo el mundo.

Si bien uno de los triunfos más importantes de la tecnología moderna fue llegar a nuestro satélite con un descenso proyectado, también el regreso a la Tierra lo fue.

Las misiones en naves lunares tripuladas y no tripuladas o de sondas automáticas, lanzadas a la Luna con el objetivo de orbitarla o de alunizar, se inició en los últimos años de la década de 1950 en el contexto de la carrera espacial soviético-estadounidense: primero por la antigua Unión Soviética como pionera al realizar misiones lunares no tripuladas entre 1959 y 1976, y luego por los Estados Unidos con el proyecto Apolo, llevado a cabo entre 1969 y 1972, único que realizó dichas misiones tripuladas.

En dicho contexto, únicamente la NASA, con las naves Apolo 11, 12, 14, 15 16 y 17 lanzadas en esos cuatro años, logró que pusieran el pie en nuestro satélite natural y regresaran 12 hombres, de los cuales hoy sobreviven seis. La Apolo 13 no pudo concretar su meta por una explosión del tanque de gas en el módulo de servicio, aunque la tripulación regresó a salvo. Finalizado el programa lunar, de 1973 hasta 1975, tres naves Apolo sirvieron para enviar tripulaciones a la estación espacial Skylab, que orbitó alrededor de la Tierra entre 1973 y 1979.

...

### Lo que vino

Aunque desde la misión del Apolo 17 en 1972, nuestro satélite ha sido visitado únicamente por sondas espaciales no tripuladas, en particular por el astromóvil soviético Lunojod 2, y desde 2004 Japón, China, India, Estados Unidos y la Agencia Espacial Europea han enviado orbitadores, aunque el Derecho internacional acerca del espacio extraterrestre, solo admite la exploración con fines pacíficos en la Luna, el tema ambiental no está blindado.

Finalmente: respecto al interés norteamericano en la Luna para el siglo XXI: por razones presupuestales se ha cancelado el Proyecto Constelación de la NASA, que desarrollaría nuevas naves para misiones espaciales, como reabastecer a la Estación Espacial y alunizar, combinando encuentros en las órbitas terrestre y lunar.

Pese a lo anterior, la NASA informa ahora sobre la misión Artemisa para llevar a la mujer a la Luna en 2024, lo que supondría llevar a cabo varias misiones tripuladas y no tripuladas en el siguiente lustro, rebautizando las misiones EM que estaban previstas. Entonces, la nave Orión no tripulada Artemisa 1, con un módulo de servicio fabricado por la agencia espacial europea ESA, saldría a finales de 2020 o principios de 2021.

A su vez, China que además del alunizaje con la sonda Chang E3 (14/12/13) ha logrado posar en la cara no visible de nuestro astro vecino (3/01/19) la sonda Chang E4 con su vehículo explorador, realizará misiones tripuladas en la primera mitad de la década de 2020.

Adicionalmente, mientras la Agencia Espacial Europea ha anunciado su interés dentro del Programa Aurora, la India contempla un sobrevuelo tripulado y un alunizaje en 2020, y Japón planea una misión tripulada y el establecimiento de una base lunar permanente para 2030.

Fuente: LA PATRIA. CIENCIAS. Manizales, Sábado, Julio 20, 2019

## 6.9 PRIMER ALUNIZAJE EN LA CARA OCULTA DE LA LUNA

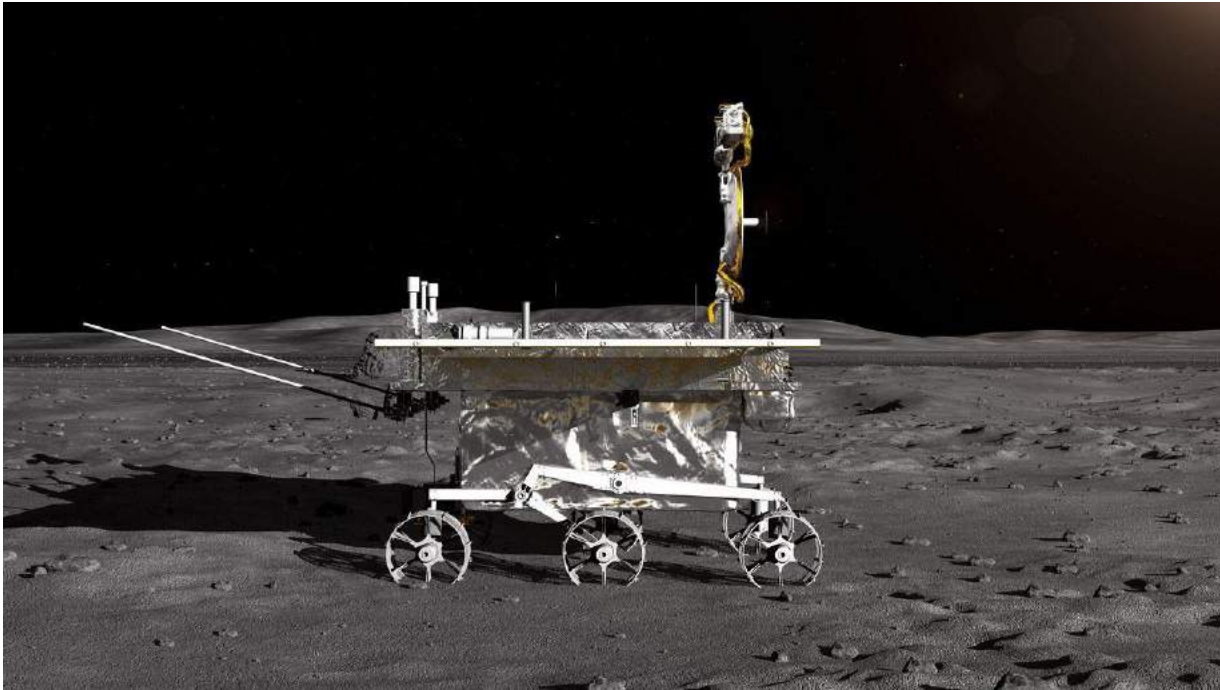


Figura 6.9. Sonda Chang'e-4, compuesta por un aterrizador y un rover, En [www.lavozdegalicia.es](http://www.lavozdegalicia.es)

...

Ha llegado la primera nave a la cara no visible de la quinta luna más grande del sistema solar, la Luna de la Tierra, único lugar más allá de nuestro planeta donde los humanos han puesto su pie. La sonda Chang'e 4 con su vehículo explorador equipado de cámara fotográfica, radares y espectrómetros, que fue lanzada a la Luna el 8 de diciembre, luego de entrar en órbita elíptica el domingo 30 de diciembre, auxiliada por el satélite Queqiao es conducida al suelo el jueves 3 de enero, según informó la Administración Nacional del Espacio de China. El éxito del suave alunizaje en la cuenca Von Kármán, uno de los mayores cráteres de impactos de la Luna en su Polo Sur, abre el nuevo capítulo en la exploración espacial de China.

La Luna, denominada en la mitología griega Selene, único satélite natural conocido hasta 1610 cuando Galileo Galilei descubre cuatro más orbitando Júpiter, por no saberse de otro, al nuestro nunca se asignó nombre propio. Pero la Luna que desde siempre ha fascinado a la humanidad e inspirado a escritores y poetas, además de su vital importancia para nuestro ecosistema marino, para el clima terrestre con sus estaciones y para la duración extendida del día, ha actuado de escudo atrapando asteroides como el que causó la desaparición de los dinosaurios en el Cretácico, hace 65 millones de años. Mientras Johannes Kepler a finales del siglo XVI con su obra 'El Sueño', en un apasionante escrito sobre un viaje a la Luna crea la ciencia ficción, también Julio Verne a mediados del siglo XIX, en su obra "De la Tierra a la Luna" se ocupa de los problemas que hay que resolver para enviar un objeto a dicho satélite.

Gracias a la Luna surgen los conceptos de semana y de mes, ambos fundamentales para los calendarios, y por lo tanto para el desarrollo de las civilizaciones. La comprensión de los fenómenos celestes referidos a la Luna, permitió integrar las leyes que



rigen el mundo sublunar y supralunar: Galileo desentraña su real naturaleza al descubrir montes y cráteres; y Newton demuestra la naturaleza de las mareas, valorando la fuerza gravitacional en el sistema Luna-Tierra Sol con su Ley de Gravitación Universal. Además, la Luna fue fundamental para orientar la navegación en los océanos y dar posición a las nuevas rutas y tierras descubiertas.

Ahora, respecto al origen de la Luna, básicamente son tres las teorías que lo tratan: 1. Que tanto la Tierra como la Luna son un sistema doble congénito, que surge de la acreción de la misma masa de materia del Sistema Solar. 2. Que su origen se debe a un cuerpo celeste de trayectoria independiente que, al pasar accidentalmente cerca de la Tierra queda capturado en su órbita. 3. Que la Luna surgió de una porción de la Tierra, que se desprende tras una colisión de importancia. Esta tercera hipótesis, la del gran impacto que produce los fragmentos que darán origen a un cuerpo tan grande tras un cataclismo, también explica la fuerte inclinación del eje de rotación terrestre.

### Investigación

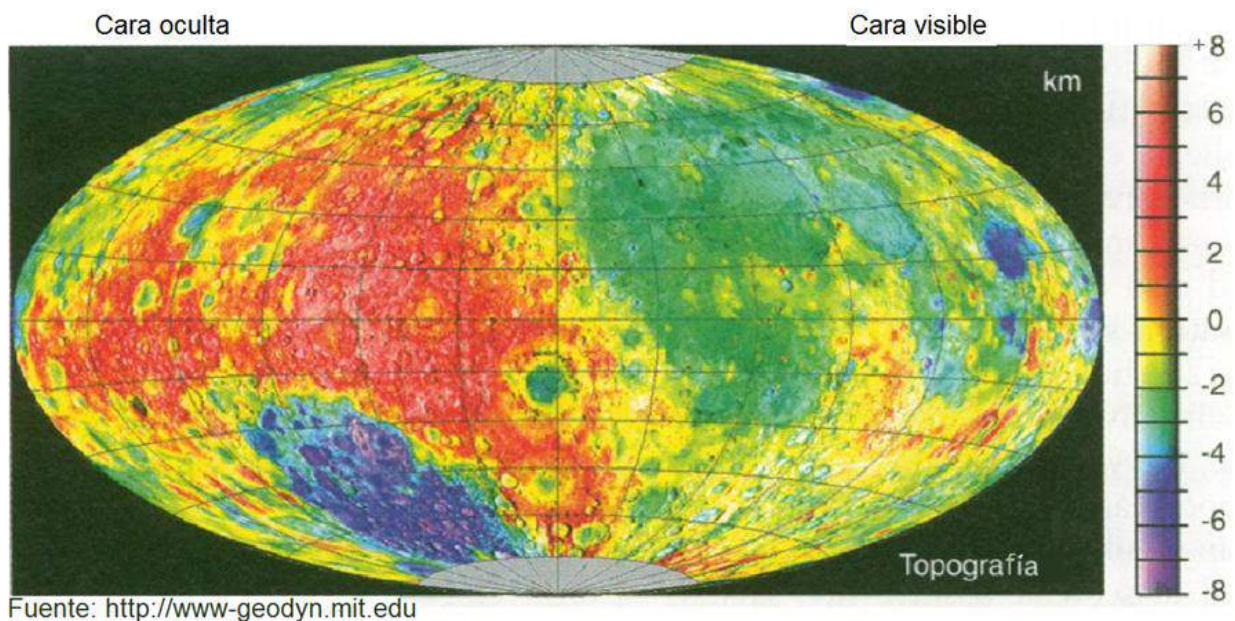


Figura 6.10. Relieve lunar: Der., cara oculta; Izq., cara visible. En [www-geodyn.mit.edu](http://www-geodyn.mit.edu)

Tras el exitoso alunizaje tranquilo, la misión ha desplegado el vehículo de exploración Yutu-2 (Conejo de Jade-2), que empezará a recorrer este desconocido paisaje lunar, y a transmitir datos útiles a través del satélite Queqiao, ubicado cerca del segundo punto de Lagrange (L2) del sistema Tierra-Luna, a unos 455.000 kilómetros de distancia de la Tierra, para desentrañar dilemas sobre la evolución lunar y la geología de esta área desconocida del satélite, una región de edad más antigua y de mayor espesor. Dicho hemisferio que por ser el lado lunar más expuesto a los impactos de meteoroides, debería tener una estructura y composición diferente, asunto que se podrá precisar con la información recopilada por el instrumental del explorador, con la cual

también se busca además de conocer la historia temprana de la Luna y esclarecer algunos de los principales interrogantes de naturaleza geológica del satélite, medir variables ambientales que condicionan el hábitat para llevar vida y colonizar el espacio.

La superficie de este cuerpo celeste con un diámetro 3,6 veces menor que de nuestro planeta, un 1/81 de su masa y un sexta parte de su gravedad, donde las montañas se forman como resultado de actividad volcánica e impactos de meteoros dado que no existe tectónica de placas, aparecen como rasgos topográficos sobresalientes, las llanuras cubiertas por roca volcánica oscura dominando la cara que nos muestra siempre la Luna, o una orografía más compleja con cráteres y altas cimas predominando en su lado oculto. Es que en la Luna, el relieve generado por la actividad volcánica, dada la falta de agua y aire, sólo ha sido modificado por el bombardeo meteórico, y por la erosión térmica consecuencia del contraste de temperaturas entre día y noche, variando desde +123°C hasta -153°C.

Aunque la cara visible es la más conocida ya que allí han alunizado 12 humanos con las seis misiones de la NASA, desde la emblemática Apolo 11 de 1969, y más de un centenar de aparatos de varios países que la han alcanzado, o que la han orbitado o la continúan orbitando, el caso de la cara oculta es otro: fotografiada por primera vez en 1959 con el Luna 3 por los soviéticos, apenas en 2007 la sonda japonesa SELENE (Kaguya) logra completar su mapa. Es que estando sincronizados los períodos de la rotación y traslación lunar, ambos con 27.32 días de duración, sólo le podemos ver a la Luna desde la Tierra, la misma cara con sus extensos valles oscuros y colinas brillantes, como geformas invariantes cartografiadas desde el siglo XVII, principalmente por Giovanni Riccioli y Francesco Maria Grimaldi.

Tras el exitoso alunizaje controlado del 3 de enero sobre los 45,5° de latitud sur y 178° de longitud este, y después de haber capturado imágenes y explorar con el rover 10 horas después el entorno, la explotación entra en reposo y los científicos logran hacer un análisis preliminar con ese primer material sobre el entorno del terreno en el cráter Von Karman sobre el cual se había posado la sonda Chang'e-4.

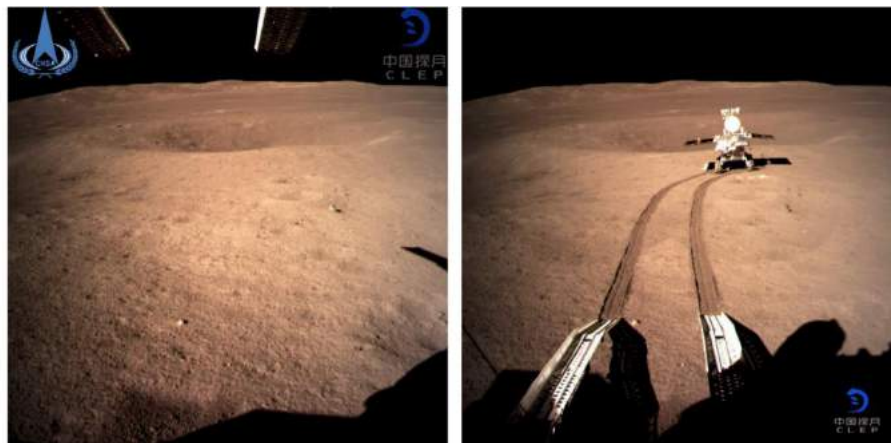


Figura 6.11. Aterrizaje de Chang'e-4 (Izq) y Huellas del rover Yutu-2 (Der) diez horas después del alunizaje. CNSA.



Figura 6.12. Panorámica de 360 grados y alta resolución, tomada con la cámara rotatoria del módulo el 11 de enero. CNSA.

Posteriormente, el 11 de enero, un día después de que la temperatura en la Cuenca del Polo Sur-Aitken que había ascendido a más de 100 grados centígrados descendiera, y con ella la intensa radiación solar dado que la luna no posee atmósfera, utilizando la cámara rotatoria instalada en la parte superior del módulo aterrizador, toma las primeras fotos panorámicas de 360 grados en alta resolución de la cara oculta de la Luna.

El 15 de enero, la agencia estatal de noticias 'Xinhua', informa sobre el éxito de uno de los experimentos de la sonda Chang'e 4, China: por primera vez se logra hacer germinar una semilla de algodón en la Luna; dicha semilla, muere después. Desafiando los contrastes de temperatura en la Luna, y su baja gravedad, con la esperanza de lograr la creación de una "minibiósfera simple", además transportar semillas de algodón, colza, patatas y arabidopsis, Chang'e-4, también llevó huevos de mosca de la fruta y algunas levaduras. El peso total de dicha carga con control térmico provista de 18 ml de agua, de suelo de aire, y de dos cámaras que registran el estado de crecimiento del organismo, es de 2.6 Kg, y el espacio de crecimiento biológico, donde la temperatura controlada solo varía de 1 a 30° C, de aproximadamente 1 litro.

### Una base lunar

La colonización lunar, además de aparecer en la agenda de los Estados Unidos, de Rusia, de la Unión Europea y de otras potencias como Japón e India, tiene como metas establecer una base lunar permanente, mediante un proyecto relativamente sencillo en comparación con una base marciana, para la cual las dificultades tecnológicas y económicas son considerables. De ahí la importancia de esta misión China que abre el 2019, recopilando información de radio de baja frecuencia, del análisis y estructura superficial de suelos y de la medición de la radiación incidente en el medio ambiente lunar. Adicionalmente, la Agencia Nacional Espacial de China ANEC, ha anunciado su intención de expandir su programa espacial durante los próximos cinco años, con dos misiones: otra a la Luna en 2019 para tomar muestras y una más en 2020 a Marte.

Dichas misiones chinas se sumarían a dos misiones al planeta rojo que por motivos de logística y distancia entre dicho planeta y la Tierra serían en 2020, una de la Agencia Espacial Europea ESA, la ExoMars 2020 que llevar su propio rover a Marte, y Mars 2020 de NASA que pondría su tercer explorador basado en el Curiosity; y también a primera misión de la ESA en 2025 para explorar la Luna con la ayuda de un módulo de aterrizaje, con el objeto de recopilar regolito.



Figura 6.13. Concepción artística de una posible base lunar. En: <https://www.nasa.gov>

Si bien la carencia de atmósfera en la Luna, la presencia de una noche con 15 días terrestres de duración, y la escasez de agua, constituyen las mayores desventajas para emprender una colonización del satélite terrestre, el principal objetivo que mueve a dichas potencias a buscar un asentamiento sobre un cuerpo natural cercano como la Luna con una gravedad conveniente para despegar a menor costo –que es la opción alternativa a Marte-, que brinda protección frente a la radiación cósmica y solar en horas nocturnas –ventaja que no ofrece una estación espacial-, responde a objetivos militares y económicos, como lo son contar con una fuente abundante de materiales para diferentes usos, y con un lugar de condiciones excepcionales para otras actividades científicas, industriales, turísticas y de defensa.

Ahora, respecto al establecimiento permanente de comunidades de seres humanos en nuestro satélite natural, además de las objeciones económicas que cuestionan la rentabilidad de semejante empresa y de otras de carácter científico que ponen en entredicho el proyecto por el alto riesgo para la vida asociado a la exposición a los niveles de radiación espacial, también se argumenta que dicha colonización de la Luna y posiblemente la de otros planetas como Marte, de no sustentarse en la preservación de la especie humana, así se soporte en propósitos científicos, comerciales, militares y geopolíticos, además de parecer innecesaria y precipitada, resultaría ser una empresa éticamente cuestionable e injustificada.

\* [Documento del [Observatorio Astronómico de Manizales](#) OAM, para el [Contexto de Astronomía](#); Universidad Nacional de Colombia. Manizales, 2019-01-20]

6.10. JUNO AUSCULTARÍA EN JÚPITER ORIGEN DEL SISTEMA SOLAR

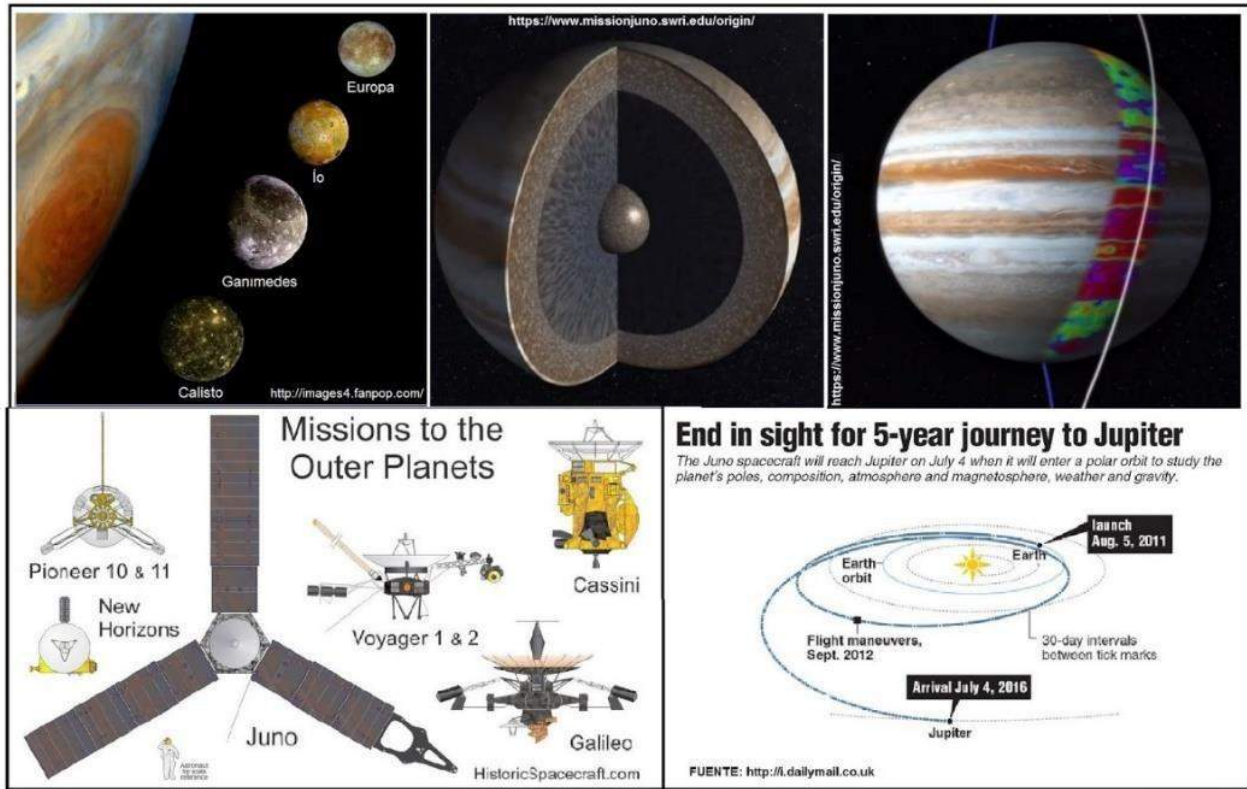


Figura 6.14: Juno aproximándose a Júpiter: El planeta, la sonda y su trayectoria. NASA/JPL-Caltech.

En la mitología romana, Júpiter hijo de Saturno y Ops, se desposó con Juno su hermana con quien tuvo como hijos a Marte y Vulcano. Pero Juno preocupada por las travesuras de su esposo, tendió un velo de nubes a su alrededor para ocultarlas, y mirar a través de ellas buscando revelar su verdadera naturaleza.

De ahí el nombre de la sonda Juno que, a un costo de US\$ 1.100 millones, ha tomado 5 años para recorrer el equivalente a 2,9 circunferencias de la órbita terrestre, logrando llegar a Júpiter donde espera obtener información clave sobre el origen del Sistema Solar, si es que logra examinar su atmósfera y conocer los patrones de movimiento a profundidades sin precedentes en el manto, saber de la composición y contenido de fluidos y gases, y de la proporción de agua joviana, por ser dicha cuantía un parámetro clave de su formación, además de evaluar los campos magnético y de gravedad del coloso, que por intensidad y en su

orden superan 20 y 2,14 veces los de la tierra.

La exploración por la NASA del sistema ubicado 5,2 veces más lejos del Sol que la Tierra, se inició en 1973 con una primera misión espacial, sucedida por otras siete no tripuladas. Aunque la mayoría, ayudadas por la asistencia gravitatoria ha logrado observaciones sin sondas ni entrar en órbita, esta lo hace barriendo sucesivamente 37 trayectorias polares a 4667 km durante 18 meses, mientras Júpiter rota. Juno es la segunda nave espacial del programa Nuevas Fronteras de la NASA, después de la Nuevos Horizontes que alcanzó a Plutón en julio de 2015, tras un periplo de nueve años y medio.

La historia de este gigante gaseoso de 11 diámetros terrestres y 1317 veces más voluminoso que la Tierra, con 67 lunas y constituido 81% de hidrógeno y 17% de helio, composición relativamente similar al Sol, es al tiempo la historia del Sistema Solar: el objeto de la misión es penetrarlo con instrumentos como magnetómetros, gravímetros y espectrógrafos, para conocer sus procesos y condiciones fundamentales, que también son los que gobernaron nuestro entorno planetario durante su formación, ya que las estructuras jovianas no han evolucionado como sí la atmósfera y mares de la Tierra: investigar bajo la superficie de Júpiter y conocer la probable existencia de un núcleo planetario sólido y profundo, será clave para dilucidar la conformación de nuestro sistema planetario.

La superficie de Júpiter no es sólida: bajo sus nubes de amoníaco y agua, aparece hidrógeno metálico, conformando el grueso manto planetario constituido por gas a gran presión atmosférica y gravitacional; fluido que al actuar como un conductor de electricidad sería la fuente del intenso campo magnético, que en las regiones polares produce las auroras más brillantes del Sistema Solar, cuando las partículas cargadas del viento solar se precipitan penetrando la atmósfera, para chocar con la magnetosfera y generar la luz ultravioleta a expensas de la extraordinaria energía del fluido metálico.

Las teorías sobre el Sistema Solar, que comienzan con el colapso de una gigantesca nube de gas y polvo, a partir de la cual se formaron temprano el Sol y Júpiter, dándose luego la captura el resto del material de la vecindad, están en un callejón sin salida puesto que en relación al cómo sucedió en Júpiter, existen

diferencias profundas entre dos escenarios: se formó a partir de un núcleo planetario masivo preexistente que gravitacionalmente captura el gas restante, o en su defecto se produjo el colapso gravitacional de la nebulosa, y luego como parte del proceso de acreción se formó el planeta.

Aún más, la composición de los protoplanetas, y la función de estos planetesimales helados en la formación planetaria, al igual que el origen de la Tierra y demás cuerpos celestes terrestres, pende de un hilo: supuestamente, los planetesimales primigenios fueron los portadores del agua y los compuestos de carbono, como bloques de construcción fundamentales de la vida. De ahí la importancia de saber más de Júpiter, que gracias a su enorme masa equivalente a 318 masas terrestres, al conservar su composición original y la mayor cantidad de agua del Sistema Solar, puede reflejar la historia de nuestro sistema solar.

[Ref.; La Patria. Manizales, Julio 2016.07.11]

Lecturas complementarias N°6:

<p><a href="#"><u>Acecha El Niño fortalecido por el calentamiento global.</u></a></p> <p><a href="#"><u>Aqua para todos: el desastre del río Mira.</u></a></p> <p><a href="#"><u>Al Bahareque le Fue Muy Bien.</u></a></p> <p><a href="#"><u>Amenazas naturales en los Andes de Colombia.</u></a></p> <p><a href="#"><u>Aprendiendo del sismo de Honshu, Japón.</u></a></p> <p><a href="#"><u>Aspectos geofísicos de los Andes de Colombia.</u></a></p> <p><a href="#"><u>Cambio Climático en Caldas – Colombia.</u></a></p> <p><a href="#"><u>Colombia: riesgos geodinámicos y hábitat.</u></a></p> <p><a href="#"><u>Conflicto socioambiental en la reserva de Río Blanco.</u></a></p> <p><a href="#"><u>Colombia pos covid... ¿qué hacer?</u></a></p>	<p><a href="#"><u>Elementos para la construcción de una visión estructurada del desarrollo de Caldas.</u></a></p> <p><a href="#"><u>Ferrocarril Interoceánico Urabá-Cupica.</u></a></p> <p><a href="#"><u>Ferrocarriles: integración y progreso para Colombia.</u></a></p> <p><a href="#"><u>Fundamentos de economía y transportes.</u></a></p> <p><a href="#"><u>Geomecánica.</u></a></p> <p><a href="#"><u>Geotecnia para el trópico andino.</u></a></p> <p><a href="#"><u>Gestión del Riesgo Natural en Colombia.</u></a></p> <p><a href="#"><u>Gobernanza Forestal en la Ecorregión Andina.</u></a></p> <p><a href="#"><u>Hidro-Ituango: una lectura a la crisis.</u></a></p>	<p><a href="#"><u>Urabá frente a los mares de Colombia.</u></a></p> <p><a href="#"><u>El Paisaje Cultural Cafetero: ¿sujeto de derechos?</u></a></p> <p><a href="#"><u>Gobernanza forestal para la ecorregión andina.</u></a></p> <p><a href="#"><u>El Río Grande, su ecosistema y la hidrografía.</u></a></p> <p><a href="#"><u>El llanto de Yuma bajo el cielo de Guarinocito.</u></a></p> <p><a href="#"><u>Gestión y política pública ambiental, para el patrimonio natural en Colombia.</u></a></p> <p><a href="#"><u>La actividad minera solicitada en Planalto, es incompatible con el medio ambiente.</u></a></p> <p><a href="#"><u>La Aurora V.S. la Reserva Río Blanco.</u></a></p> <p><a href="#"><u>La historia del Cerro Sancancio.</u></a></p> <p><a href="#"><u>Nuestros bosques de niebla en riesgo.</u></a></p>
--	---	--

.....

UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
COLOMBIA (1867-2017)



**GUÍA ASTRONÓMICA**

Gonzalo Duque-Escobar

**MANIZALES, 2020**

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3252>

Anexo 1: Colombia tropical: ¿y el agua qué?.	Anexo 12: La Luna
.	.
Anexo 2: Calentamiento global en Colombia	Anexo 13: Cultura y Astronomía (C&A)
.	.
Anexo 3: Aspectos geofísicos y amenazas naturales en los Andes de Colombia.	Anexo 14: Astronomía en La Edad Media y el Renacimiento.
.	.
Anexo 4: El camino a las estrellas.	Anexo 15: Sol, lunas y planetas.
.	.
Anexo 5: Isaac Newton	Anexo 16: Manual de geología para ingenieros
.	.
Anexo 6: Albert Einstein.	Anexo 17: Riesgo sísmico: los terremotos.
Anexo 7: Stephen Hawking	Anexo 18: CTS, Economía y Territorio.
Anexo 8: Geotecnia para el trópico andino.	Anexo 19: Cultura y Turismo en Caldas.
Anexo 9: Preservación Ambiental e Hídrica del Paisaje Cultural Cafetero.	Anexo.20: El Río Cauca y el desarrollo de la región.
Anexo 10: Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial.	Anexo 21: Videos: Temas de Astronomía y Medio Ambiente.
Anexo 11: Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia.	Anexo.22: UMBRA: la Ecorregión Cafetera en los Mundos de Samoga.
Enlaces U.N.: Textos “verdes”	<b>El Autor: Gonzalo Duque-Escobar</b>

**HOME:**

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3252>

CONTENIDO: PRESENTACIÓN. GUÍA Nº 1. HISTORIA DE LA ASTRONOMÍA. GUÍA Nº 2. COORDENADAS ASTRONÓMICAS. GUÍA Nº 3. ELEMENTOS DE MECÁNICA PLANETARIA. GUÍA Nº 4. TIEMPO Y CALENDARIOS. GUÍA Nº 5. EL SISTEMA SOLAR. GUÍA Nº 6. SOL, LUNAS Y PLANETAS. GUÍA Nº 7. COSMOGRAFÍA. GUÍA Nº 8. ELEMENTOS DE ASTROFÍSICA. GUÍA Nº 9. LAS ESTRELLAS. GUÍA Nº 10. LAS GALAXIAS. GUÍA Nº 11. EL UNIVERSO. GUÍA Nº 12. TEORÍAS COSMOGÓNICAS. GUÍA Nº 13. ASTRONOMÍA EN COLOMBIA. BIBLIOGRAFÍA

**A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.**







Para reconocer el cielo, recurrimos al método de los geógrafos, quienes identifican en la Tierra sus regiones con nombres como los de los países. Esas **regiones** en el cielo se denominan **constelaciones** y sus límites están fijados internacionalmente. En todo el cielo hay 88 constelaciones y más de 2500 estrellas visibles; de ellas unas 190 tienen nombre propio.

A partir de Galileo, se matematiza el mundo; la noción de tiempo es continua cuando se mide la velocidad. Allí el reloj cumple una función fundamental que termina marcando al hombre moderno.

En las constelaciones, las estrellas se ordenan por su brillo para asignarles **el alfabeto griego**, con pocas excepciones. Las menos brillantes tienen un código numérico y otros objetos celestes de esas regiones, son de igual manera codificados. Los nombres de las constelaciones, aluden a animales, **seres míticos** e instrumentos. Ptolomeo, en el cielo que dominó desde el mediterráneo, identificó 48 constelaciones. Otras, vecinas al Polo Sur y fuera de ese dominio, fueron bautizadas por navegantes del siglo XV, quienes les

asignaron **nombres no mitológicos** y más ceñidos a esa época y a los nuevos descubrimientos. No obstante, algunos cambios posteriores, en muchas de las anteriores estrellas, los **nombres árabes** aun subsisten.

Ilustraremos los textos con una **Carta Celeste** calculada para las 5 horas de GMT sobre el meridiano de Manizales. Consta ella de dos regiones polares y una ecuatorial (subdividida). Las flechas muestran el sentido de rotación de la carta para la corrección horaria antes de la media noche. Las líneas de declinación van de  $10^\circ$  en  $10^\circ$ , y se prevé un traslape en las cuatro unidades del conjunto. Para la región ecuatorial, **mirando al sur** se debe llevar la carta sobre la cabeza, a fin de que los puntos cardinales, E y W, queden bien orientados.

### 7.1. CONSTELACIONES Y ESTRELLAS DE LA REGION NORTE

**Osa Mayor:** Las 7 del carro hacen la cacerola, mayoría de segunda magnitud, las dos punteras dan el Norte, Mizar con Alcor parece doble, pero es triple. Se destaca la Galaxia M 81 (objeto Messier).

**Osa Menor:** Poco brillante, son 7 que hacen un carro pero de cola invertida y curiosamente las del cuadrilátero tienen 2, 3, 4, y 5 de magnitud, respectivamente. Contiene Polaris en el Polo Norte que dista 300 años luz y es variable. La altura angular de la estrella Polar sobre el horizonte, da la Latitud geográfica.

**Dragón:** Thuban (en la cola) fue la Polar hace 4500 años por la precesión de los equinoccios; la constelación es grande y de poco brillo. Envuelve la Osa Menor y contiene una nebulosa planetaria visible con pequeño telescopio.

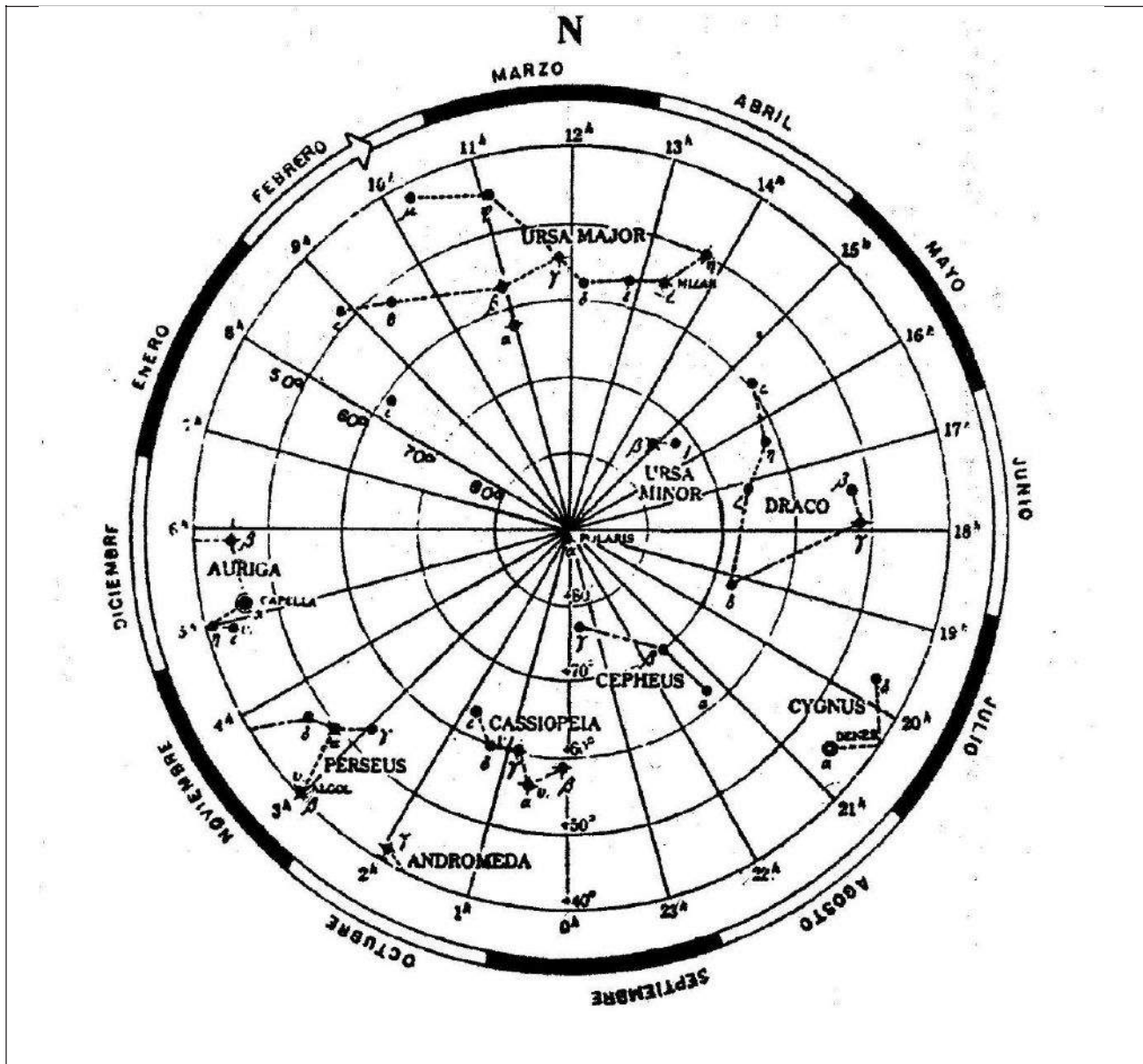


Figura 7.1. Cielo del polo norte celeste: estrellas del norte visibles desde Colombia a las 5 h MGT. Los meridianos celestes (radios) van de 15° en 15° y los círculos de declinación (anillos) de 10° en 10°.

**Cefeo:** Difícil de identificar; con forma de casa de techo en punta; la estrella Delta en un ángulo del piso es "variable Cefeida", útil como faro del Universo. En la base media del piso hay una variable irregular roja. Entre las variables se destacan las que son periódicas, pues permiten medir distancias.

**Casiopea:** Con forma de M cruzada por la Vía Láctea. Con binóculos se ven estrellas dobles y dos conglomerados, su supernova de 1572 eclipsó a Venus. Esta constelación es muy destacada y hermosa.

**Jirafa:** (Camelopardalis). Es grande y poco brillante.

## 7.2. EL CIELO DE SEPTIEMBRE

**Pegaso:** El caballo alado. En su cuadrilátero de  $15^\circ$  de lado, la Beta ( $\beta$ ) es variable y su estrella Delta ( $\delta$ ) es la Alfa ( $\alpha$ ) de Andrómeda. Significa que delta esta compartida por las dos constelaciones.

**Andrómeda:** Hermana de Casiopea. Tres estrellas de 2<sup>a</sup> magnitud y una estrella doble, amarilla y azul. Contiene M 31 (Galaxia Andrómeda, a 2.2 años luz, tipo espiral barrada).

**Piscis:** sin brillo. Es del zodiaco, contiene el punto vernal, que por la precesión de los equinoccios antes estaba en Aries. La precesión desplaza  $50''{,}26$  de arco el punto Aries ( $\tau$ ) o vernal en un año, hacia el Sol, y hace cambiar la estrella polar lentamente.

**Ballena:** (Cetus). El monstruo marino que asolaba las costas de Etiopía y al cual se le entregó a Andrómeda para aplacarlo. Grande y poco definida, pero se destacan Mira por ser variable roja y Beta que es de 2<sup>a</sup> magnitud.

**Acuario:** (El Aguador). Es el hijo de Prometeo. Es del zodiaco y contiene un notorio grupo de estrellas naranja, visibles con telescopio.

**Pez Austral:** Se destaca Formalhaut, estrella de 1a. magnitud. (Primera magnitud es más brillante que segunda magnitud).

**Fénix:** (El Ave). Con una estrella doble llamada Phoenicis, a 76 a. l. y cuarenta veces más luminosa que el Sol.

**Grulla:** Fácil de distinguir por sus estrellas Alfa y Beta, que son de 2ª magnitud.

### 7.3. EL CIELO DE NOVIEMBRE

**Auriga:** (El Cochero). Con Capella de 1a. magnitud. Contiene Conglomerados y la binaria  $\epsilon$  eclipsante (estrella gigante con compañera). El caso Epsilon ( $\epsilon$ ) Aurigae. Significa que el sistema doble orbita con su plano hacia el observador.

**Perseo:** Contiene la eclipsante binaria Algol. En su extremo tiene un conglomerado abierto, doble y sobrecogedor por su belleza M 34.

**Tauro:** Con la roja Aldebarán del Toro de 1ª magnitud. Después del conglomerado abierto en V, de las Híades, aparece el de las Pléyades, que es también conglomerado abierto. Aquí se encuentra la llamada nebulosa de Cáncer, resto de una supernova.

**Triángulo:** (Boreal). Contiene la galaxia M 33.

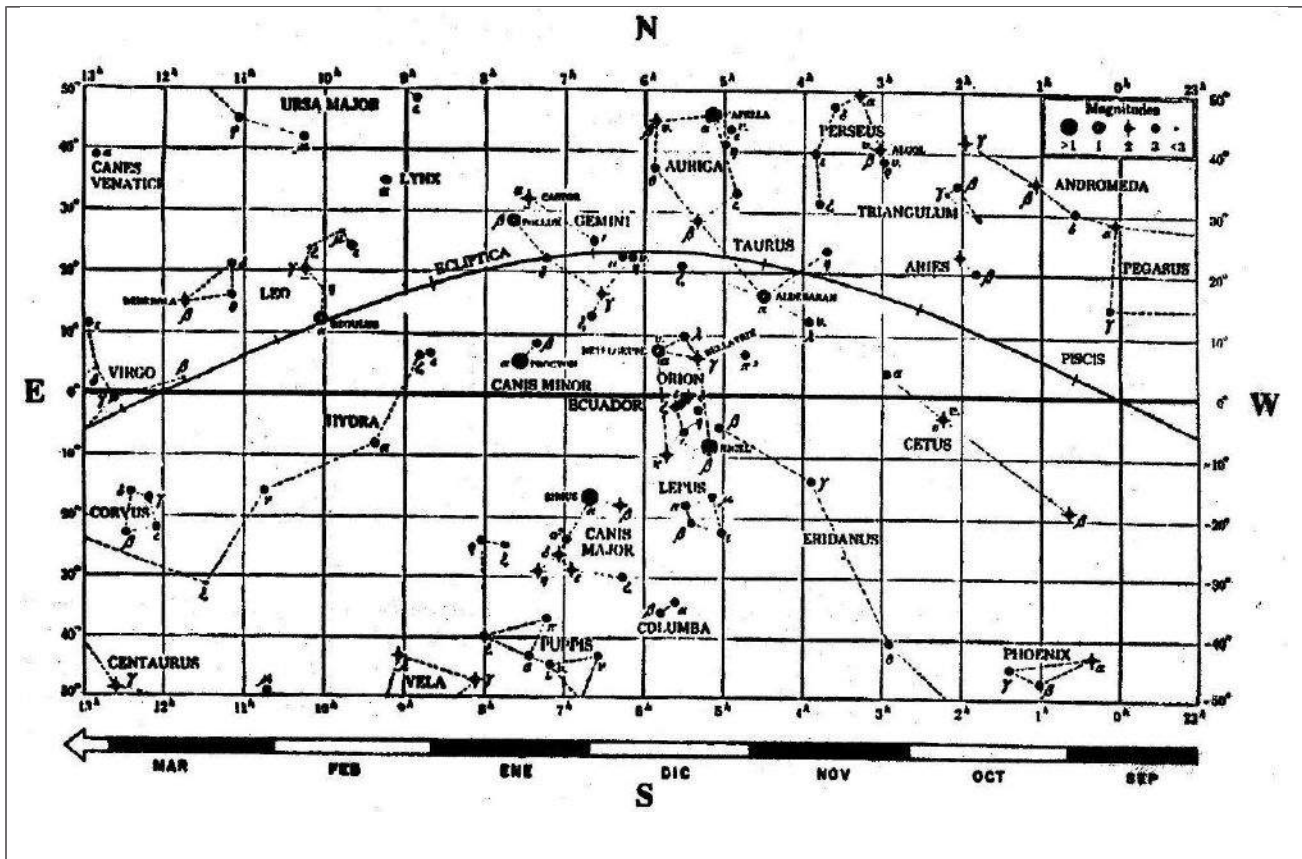


Figura 7.2. El cielo de diciembre: de izquierda a derecha cruza el ecuador celeste. Los meridianos van de 15° en 15° y las líneas de declinación de 10° en 10°. Mirando al sur, se lleva la carta sobre la cabeza.

**Aries:** (El Carnero). Pertenece al zodíaco, región por donde pasan el Sol y los planetas, es decir, sobre la eclíptica.

**Orión:** (El Cazador). Con dos estrellas de 1a. magnitud, cinco de 2<sup>a</sup> magnitud y cuatro de 3<sup>a</sup> magnitud; al norte del cinto la supergigante variable Betelgeuse roja y al sur la gigante blanquiazul doble Rigel. En la espada la nebulosa M 42 de 26 años luz de diámetro y a una distancia de 1600 años luz, incluyendo allí el sistema múltiple de estrellas llamado El Trapecio. En un sistema múltiple las estrellas son congénitas.

**Columba:** Es la paloma del Arca de Noé. Su  $\alpha$  de magnitud 2.7, que a veces se le denomina Phakt. La  $\beta$  es de magnitud 3.2.

**El Río Eridano:** Largo y retorcido, con la estrella Achernar en su extremo sur.

#### 7.4. EL CIELO DE ENERO

**Lince:** Bautizada por Evelius. "Hay que tener ojo de lince para verla".

**Géminis:** Hermosa y sobresaliente. Cástor ( $\alpha$ ) y Pólux ( $\beta$ ) con 1.6 y 1.1 de magnitud, son excepción, pues,  $\beta, \dots, \dots$  son códigos para estrellas de una constelación ordenadas en brillo decreciente. Cástor y Pólux se separan 5° (10 diámetros lunares solares), para utilidad de quienes miden, Cástor pareciendo doble es triple; en el pie derecho de los gemelos hay un conglomerado abierto.

**Cáncer:** De escaso brillo, su contorno recuerda a Orión; contiene el conglomerado abierto Praesepe, llamado M 44 en el catálogo de los 103 objetos, hecho por Messier en el año de 1784.

**Can Menor:** El menor de los perros de Orión. Contiene a Proción con 0.4 de magnitud, distante 10 años luz.

**Can Mayor:** El otro perro del cazador. Contiene M 41. También a Sirio la más brillante estrella del cielo, cuya compañera no es visible. Sirio, 26 veces más brillante que el Sol, es clase espectral A-1 (Diagrama H-R), tiene magnitud -1.4 y dista 8.6 años luz.

**Hidra:** La mayor constelación. Alargada y serpenteante. Contiene una variable roja irregular y también a Alphard (La Solitaria).

**Monóceros:** (El Unicornio). Poco brillante. Una estrella triple de 5a. magnitud y un hermoso conglomerado abierto.

**Popa y Vela:** Con Quilla (Carina), conforman la Nave Argos; Popa tiene un conglomerado abierto y Vela cuatro estrellas de 2<sup>a</sup> magnitud.

## 7.5. EL CIELO DE MARZO

**Lebreles:** (Canes Venatici o los perros de caza).

**Cabellera de Berenice:** Es adyacente a Lebreles, y la región está repleta de conglomerados y nebulosas como el conglomerado globular M 3.



**Leo:** La más significativa del zodiaco. En la hoz que sale de Régulo, estrella blanquiazul de 1a. magnitud, está la doble Gamma ( $\tau$ ). Es el foco de meteoros de noviembre 17; millares de ellos por hora fueron espectáculo en 1833, 1866 y 1966.

**Leo Menor:** Ningún interés y de poco brillo.

**Virgo:** En forma de Y; en la base contiene a Spica, una estrella blanquiazul de 1ª magnitud, de brillo 1500 veces el del Sol. La Gamma es binaria. La región tiene muchas galaxias de poco brillo.

**Cuervo:** Cuatro estrellas de 3ª magnitud formando un compacto cuadrilátero. La  $\delta$  es doble.

**Centauro:** Rigel ( $\alpha$ ) y Agena ( $\beta$ ) de 1ª magnitud.  $\alpha$  es una estrella doble más una tercera enana roja.  $\alpha$  es la estrella más cercana, distando 4.25 años luz. En su centro está W del Centauro, el mayor conglomerado globular, con decenas de miles de estrellas apiñonadas.

## 7.6. EL CIELO DE MAYO

**Hércules:** Poco brillante. Del tosco cuadrilátero salen las manos y pies del gigante. El M 13 es un conglomerado globular con 50000 estrellas. Tiene otro conglomerado, el M 92.

**Corona Boreal:** Más interesante que la Corona Austral, por tener varias estrellas dobles y variables.

**Bootes:** (El Boyero). Con Arturo, estrella naranja de 0.2 de magnitud. Arturo es sobrepasado apenas por Vega y Capella en el Hemisferio Norte. La  $\delta$  del Boyero es doble.

**Ofiuco:** (El Serpentario). Difícil de identificar. Contiene M 12, un conglomerado globular.

**Cabeza de Serpiente:** Contiene a M 5, un conglomerado globular, próximo a la  $\alpha$  (Corserpentis).

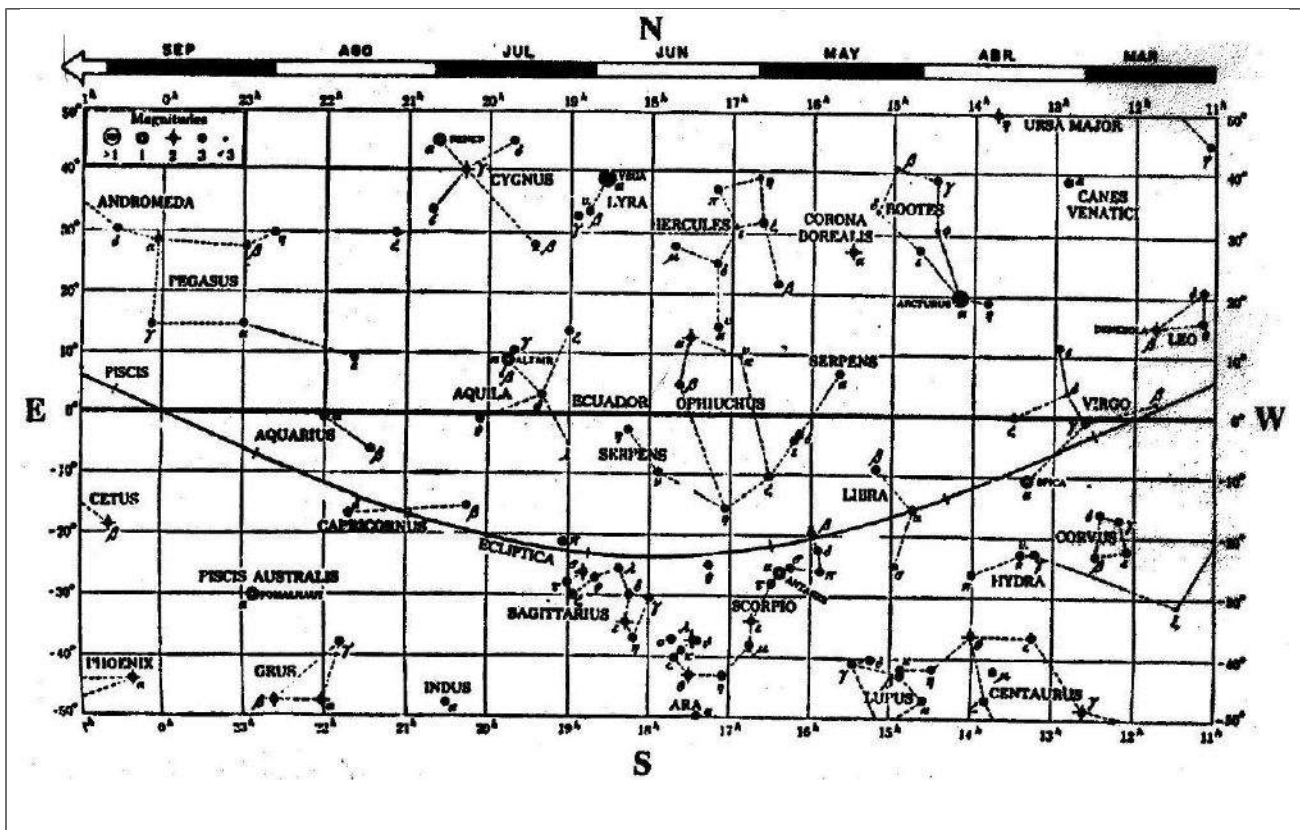


Figura 7.3. El cielo de junio: para la corrección horaria de la carta, la línea de fecha debe ser desplazada, antes de la media noche en el sentido de la flecha y después de media noche en sentido contrario.

**Libra:** única excepción de lo no viviente en el zodiaco. La  $\delta$  a 205 años luz, es binaria eclipsante con período de 2.3 días.

**Escorpión:** Animal que agujoneó a Orión. De excelente forma. Contiene a Antares, supergigante roja con 300 diámetros solares, y  $\tau$  y M 4, conglomerados globular y abierto respectivamente.

**Altar y Lobo:** (Ara y Lupux). Constelaciones, poco notables.

## 7.7. EL CIELO DE JULIO

**El Cisne:** Con la Cruz del Norte. Destacándose allí Deneb, una estrella blanca de 1ª magnitud, Albireo una doble amarilla-verde y la 61 del Cisne con la que midieron la primera paralaje; tiene muchos conglomerados.

**La Lira:** Llena de interés, cerca de  $\beta$  está la Nebulosa Anular;  $\beta$  es binaria eclipsante, la  $\epsilon$  cerca de Vega es doble.

**Sagita:** La Flecha.

**Delfín:** Con una doble de 5ª magnitud. En la región apareció la Nova de 1967 cuya duración fue excepcional.

**Aguila:** Con Altair de 1a. magnitud. Altair con Vega y Deneb conforman el Triángulo Estival. Vecina de Altair está Tarazed.

**Capricornio:** Poco brillante. La  $\alpha$  en el extremo del Aguila, parece doble, pero son dos estrellas superpuestas ópticamente, siendo una gigante y la otra una supergigante.

**Sagitario:** Contiene las Nebulosas W y la de La Laguna, y el conglomerado globular M 22. Los conglomerados globulares son cerrados y forman el halo de la galaxia.

## 7.8. CONSTELACIONES Y ESTRELLAS DE LA REGION SUR

**Cruz del Sur:**  $\alpha$  y  $\beta$  son de 1a. magnitud. La gamma ( $\tau$ ) es de 1.6 de magnitud. La cuarta estrella es poco brillante.  $\alpha$  y  $\tau$  distantes  $30^\circ$  señalan el sur.  $\alpha$  es doble. Cerca de  $\beta$  hay un conglomerado abierto de más de 100 estrellas.

**Triángulo Austral:** Tiene conglomerado abierto.

**Pavo:** La Ji (X) es cefeida.

**Tucán:** Contiene la mayor parte de la nube menor de Magallanes, el conglomerado abierto M 47 y otro globular.

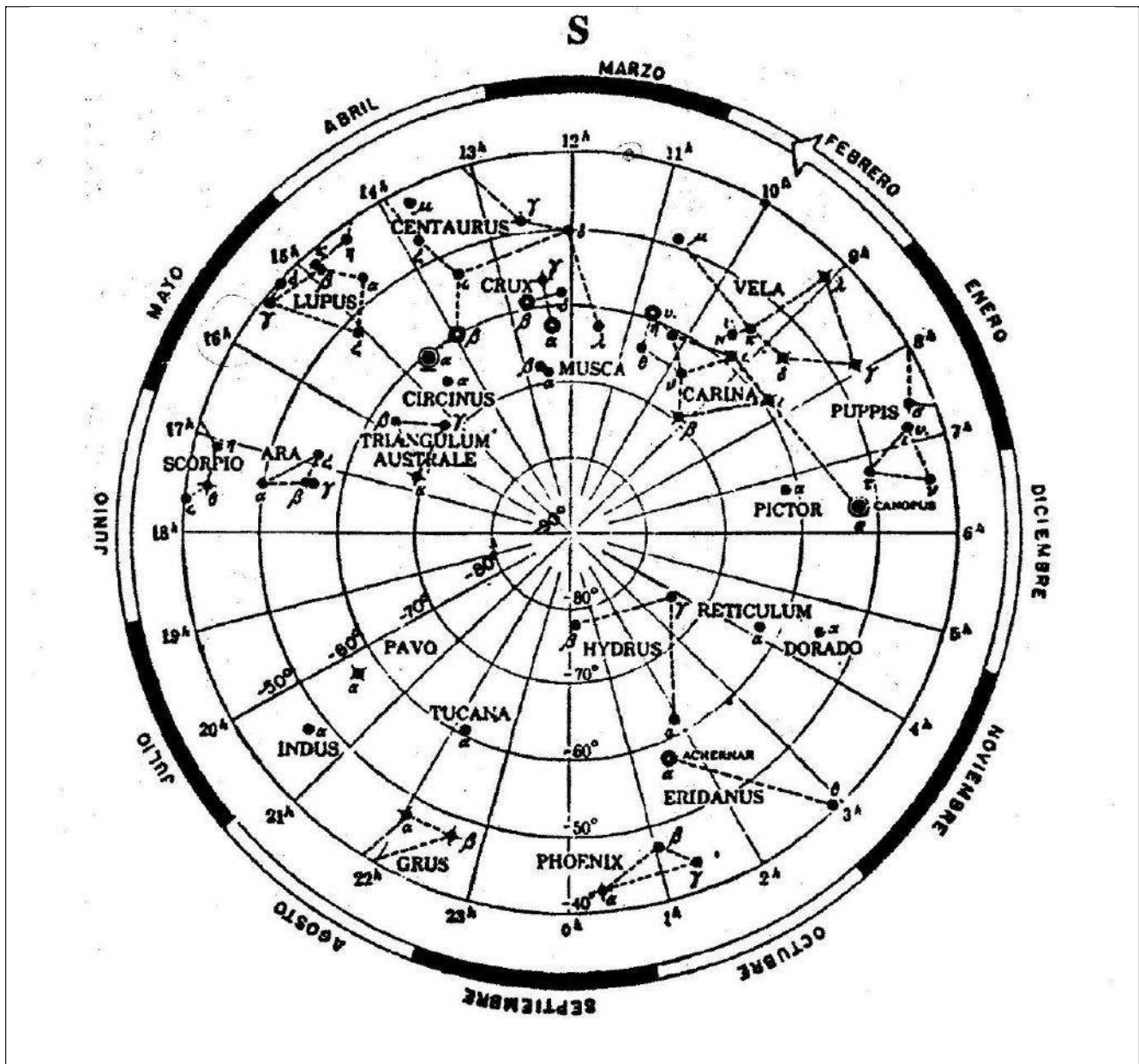


Figura 7.4. Cielo del polo sur celeste: mirando al sur, lleve la fecha a la parte superior. Según la fecha, haga la corrección horaria antes de la media noche rotando la carta en el sentido de la flecha.

**Octante:** Contiene el Polo Sur Celeste sin estrella notable que lo demarque.

**Dorado:** Contiene parte de la gran nube de Magallanes y la Gran Nebulosa Curva.

**Volans:** (El Pez Volador). Con dos dobles de 4ª magnitud.

**Quilla o Carina:** Grande y sorprendente. Incluye a Canopus, quien sólo es superado por Sirio en el cielo; su color es amarillo y su magnitud de 0.9. Canopus dista 650 años luz, pero es 80000 veces más brillante que el Sol.

**El Zodíaco:** Siguiendo el cielo de Oeste al Oriente, se puede observar en las cartas de proyección ecuatorial, las que muestran el cielo en Diciembre y Junio, una línea sinusoidal que representa la Eclíptica, y por lo tanto las posiciones del Sol a lo largo del año. Recuerde que la carta da la posición de los astros a las doce de la noche, por lo que Géminis aparece en Diciembre y Sagitario en Junio, ambas seis meses después de los meses que les corresponde, lo que equivale a las 12 horas que hay entre la media noche y el mediodía.

A lo largo de la Eclíptica, se encontrarán también los Planetas, dado que el Sistema Solar es relativamente coplanar. Esto es, los planetas y la Luna estarán cercanos a la eclíptica, y por lo tanto sobre 12 las constelaciones por donde transitan los planetas a lo largo del año. Así, al camino del Sol donde se producen los eclipses, se le denomina "la Eclíptica", y a las 12 constelaciones de esa banda de unos 16° de ancho se les ha de denominar, Casas Zodiacales", aunque cada constelación tenga una longitud diferente.

## 7.9. CONSTELACIONES DEL ZODÍACO

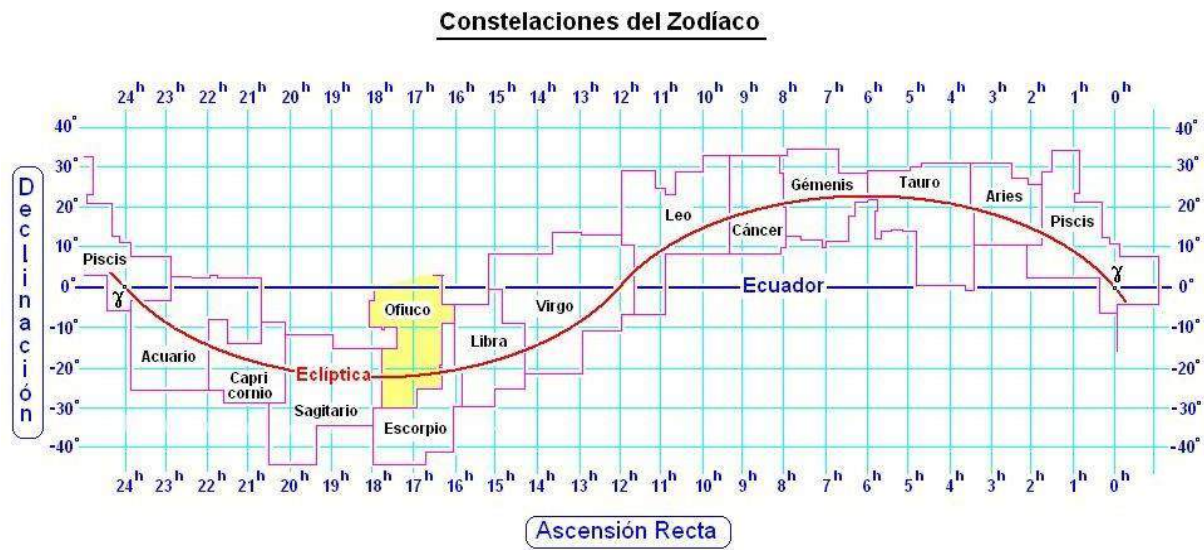


Figura 7.5. Trayectoria aparente del Sol a lo largo de la Eclíptica.

Los signos del zodiaco, en el orden habitual, son: Aries El Carnero, Taurus El Toro, Gémini Los gemelos, Cáncer El Cangrejo, Leo El León, Virgo La Virgen, Libra La Balanza, Scorpio El Escorpión, Sagitarius El Sagitario, Capricornus El Capricornio, Acuarius El Aguador, Piscis Los Peces, todos formados por animales o personas, menos La Balanza que no entra en la categoría de "lo viviente".

Aunque el culto zodiacal tiene sus inicios en la astrología astrólogos de Babilonia y Egipto, el zodiacal occidental proviene la antigua Grecia. Donde a cada signo se le asocian uno de los cuatro elementos aristotélicos, así:

Fuego: Aries, Leo, Sagitario.

Tierra: Tauro, Virgo, Capricornio.

Aire: Géminis, Libra y Acuario.

Agua: Cáncer, Escorpio, Piscis.

También, a cada signo suele asignársele un astro tomando los nombres de la mitología romana antigua, o su equivalente de la mitología griega (Venus: Afrodita; el Sol: Apolo Helios)



Figura 7.6. Fechas y Símbolos de la Eclíptica Zodiacal.

Astronómicamente, los signos zodiacales que aparecen sobre el camino del Sol, ni espacialmente contemplan la constelación de Ofiuco, ni temporalmente tienen la misma duración, ya que las constelaciones zodiacales cubren segmentos con diferente extensión en la eclíptica y que además el Sol transita por Ofiuco, que es la región entre Escorpio y Sagitario también conocida como Serpentario.

Signo	Astro	Signo	Astro	Signo	Astro
<b>Aries</b>	Marte / Plutón	<b>Leo</b>	Sol	<b>Sagitario</b>	Júpiter
<b>Tauro</b>	Venus / Tierra	<b>Virgo</b>	Mercurio	<b>Capricornio</b>	Saturno
<b>Géminis</b>	Mercurio	<b>Libra</b>	Venus	<b>Acuario</b>	Urano / Saturno
<b>Cáncer</b>	Luna	<b>Escorpio</b>	Plutón /Marte	<b>Piscis</b>	Neptuno / Júpiter

Cuadro 7.1. Relaciones zodiacales



**Mitología zodiacal.**

Aries o el Carnero está relacionado en la mitología, con una de las grandes historias épicas del mito griego: la leyenda del vellocino de oro, protagonizada por Frixo y Hele, hijos de Atamante, rey de Tesalia. Leo, la bestia nacida de Tifón y Equidna, se identifica con el León de Nemea, de piel impenetrable, que Hércules tenía que desollar para hacerse a su pelaje como armadura.

Sagitario, hijo de Cronos y la ninfa Filira, quien, para poseerla, se transformó en caballo, y de la unión nació Quirón, un gran educador con forma de centauro. Tauro, la forma de toro que el Zeus adoptó para seducir a la mítica princesa fenicia Europa, con la cual tuvo tres hijos: Minos, el legendario rey de Creta, Sarpedón y Radamantis.

Virgo, la representación de la titánide Astrea hija de Zeus y Temis, es la diosa virgen que porta los rayos de Zeus en sus brazos. Capricornio, es la cabra Amaltea que crio a Zeus en la isla de Creta para esconderlo de, su padre Cronos, quien devoraba a sus hijos.

Géminis, son los gemelos Cástor y Póllux, nacidos de un huevo que puso Leda, la reina de Esparta, después de haber copulado con Zeus convertido en cisne.

Libra, en la mitología griega, esta representa la balanza sostenida por Astrea, la diosa de la justicia.

Acuario, uno de los mortales más hermosos, del cual Zeus se enamoró perdidamente, y convirtiéndose en águila lo rapta y lleva al Olimpo. Cáncer, el cangrejo gigante que habitaba en la laguna de Lerna, en el mito de los doce trabajos de Heracles, a quien por orden de Hera, ataca mientras lucha contra la Hidra.

Escorpio, picó con su aguijón le provocó la muerte a Orión el cazador, quien en un arrebató de celos se sacó los ojos. Piscis, según Eratóstenes simboliza un gran pez que salvó a la diosa asiria Derceto, hija de Afrodita, cuando ésta cayó en una laguna.

### 7.10- OBSERVATORIO DE ALTA MONTAÑA PARA COLOMBIA

En documento de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Colombia, elaborado por el Profesor José Gregorio Portilla del Observatorio Astronómico Nacional, y dispuesto por Aerocivil (\*), se hace un interesante diagnóstico sobre el equipamiento para la observación astronómica de Colombia, que incluye este párrafo.

“El país no cuenta con una estación de montaña, entendida ésta como una instalación remota ubicada en un paraje aislado de excepcionales condiciones atmosféricas (un número de noches relativamente altas que estén despejadas en el año) que posea instrumentos astronómicos de alta tecnología (en las actuales condiciones, ello significa contar con un telescopio de un espejo de abertura mayor o igual que 2 metros) con los detectores apropiados (fotómetros, cámaras CCD) y con una instalación de soporte para que los técnicos, personal de apoyo y astrónomos visitantes y de base, tengan la oportunidad de usarlas de forma recurrente. Tampoco se ha realizado un estudio serio de la búsqueda de un sitio que pueda cumplir con esos requisitos.

Debido a su situación geográfica y topográfica, así como a su particular situación de orden público en ciertas zonas remotas, un sitio adecuado de observación en el rango del óptico es por ahora desconocido. Sin embargo, se recomienda que dicho sitio, de seleccionarse, debe elegirse relativamente próximo a la ciudad de Bogotá, con una distancia no superior a los 200 km, para facilitar las labores de desplazamiento. Se escoge Bogotá dado que es allí en donde se concentra el grueso de la comunidad astronómica profesional que se supone será usuaria de la estación.”

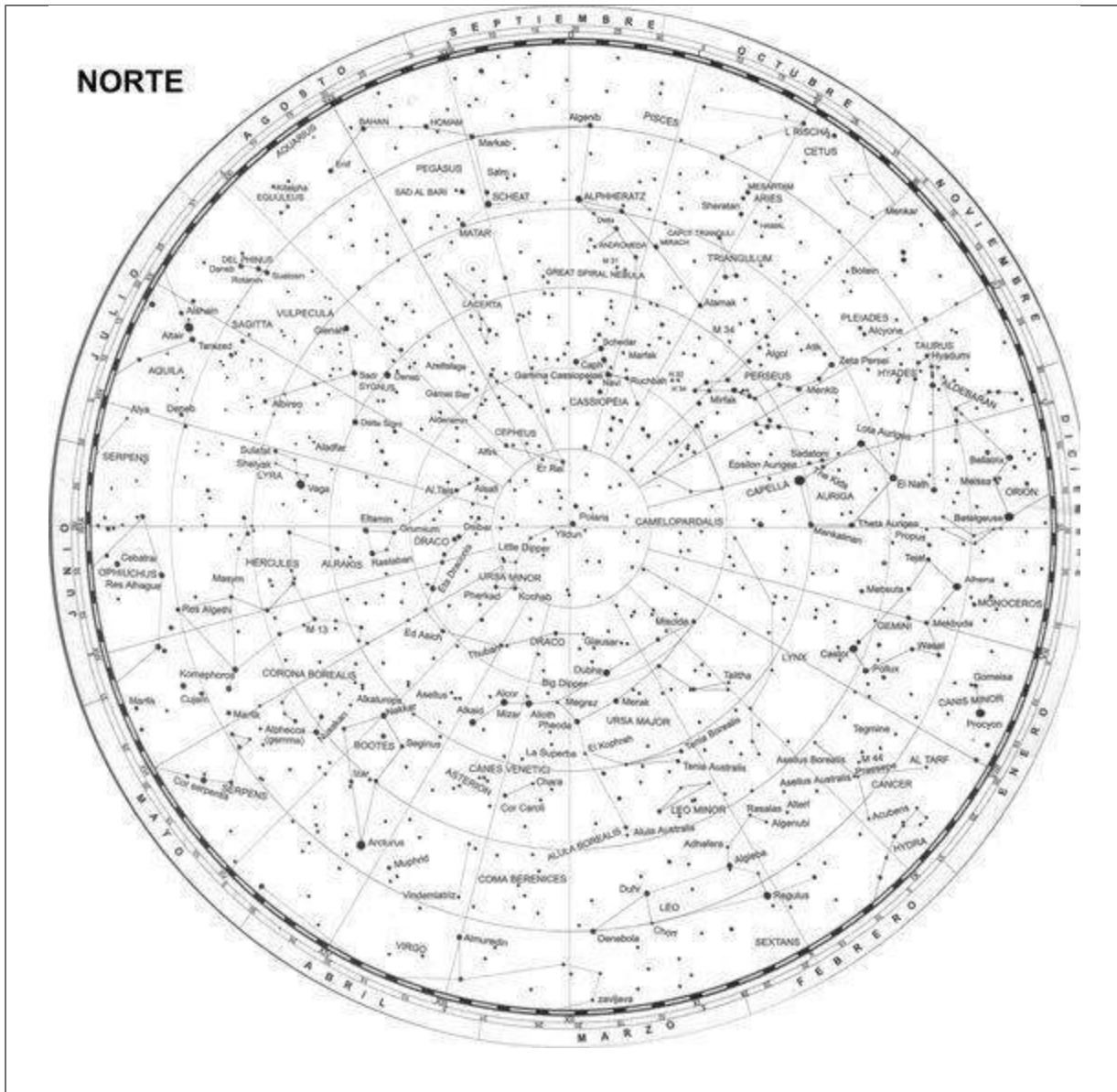
Al respecto, quisiera agregar que, a partir de los trabajos en geofísica que se efectuaron en Caldas para la evaluación del potencial geotérmico del macizo volcánico Ruiz-Tolima, en visita que efectuamos con el Profesor Jorge Arias de Greiff en 1979, en el marco de un proyecto para instalar un observatorio astronómico de 1,5 m de diámetro (y finalmente de 1 m) , a partir de las anotaciones del ilustre Geógrafo Élisée Reclus en su obra Geografía de Colombia de 1893, pudimos señalar la existencia de un microclima favorable ubicado en el costado oriental del Parque Nacional Natural de los Nevados que invitaba a considerar las elevadas mesetas de las cumbres del alto drenaje al occidente del eje Armero-Ibagué. Para construir más sinergias, si se opta por la astronomía atmosférica como línea de investigación se pondría incorporar un centro de investigaciones climáticas.

En efecto mientras los estudios del Astrónomo Alberto Villegas estimaban para la Laguna del Otún unas 100 noches despejadas al año, más adelante se encuentra que al occidente del Nevado del Tolima esa contabilidad supera las 230 noches despejadas.

Luego la propia Facultad de Ciencias complementó este estudio con una observación directa de otros factores en Vancouver Tolima, evaluando la estabilidad y transparencia atmosférica y la baja actividad microsísmica, y cuyos resultados favorables dieron vía libre a una propuesta que alcanzó a perfilarse para obtener el equipo mediante un intercambio de Café entre la Federación Nacional de Cafeteros por Colombia y la entonces República Democrática de Alemania.

Ed. RAC 451. Enero 18 de 2008.

## **7.11. CARTAS CELESTES POLARES Y ECUATORIAL**



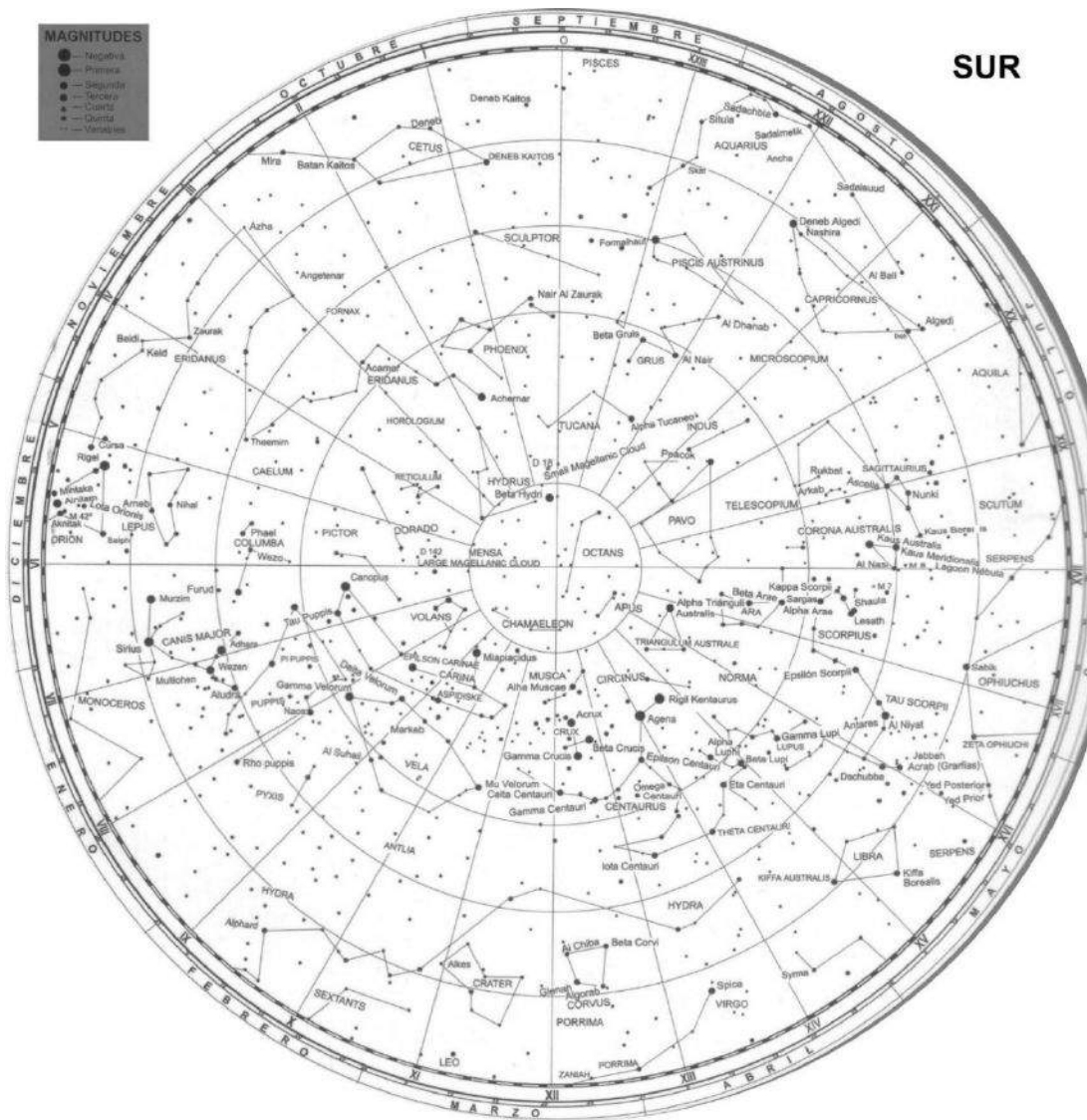


Figura 7.5 Cartas Celestes polares para los hemisferios Norte y Sur. <https://i.pining.com>

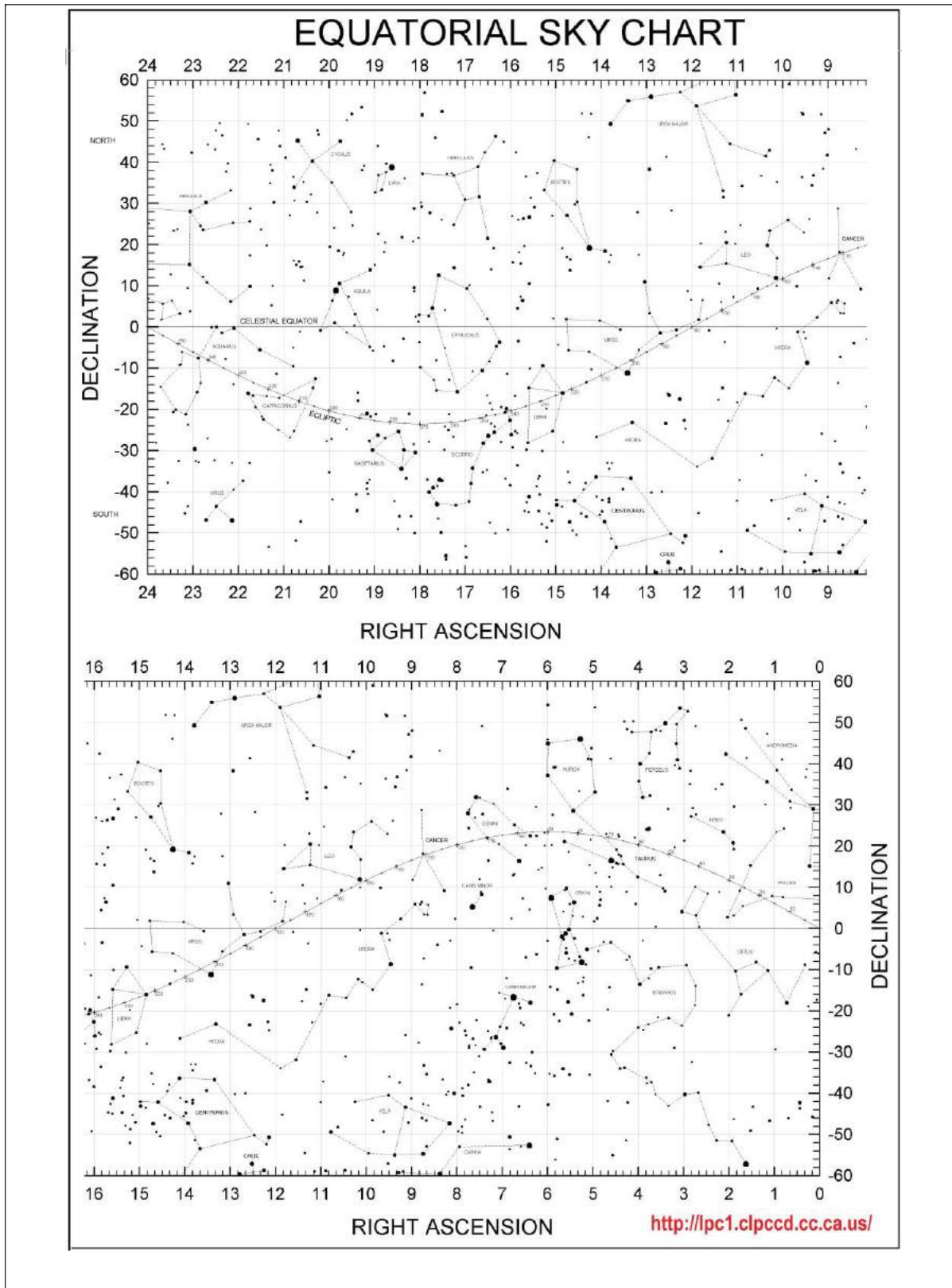


Figura 7.6 Carta Celeste Ecuatorial. <http://pc1.clpccd.cc.ca.us/>

## 7.12. LLUVIAS DE METEOROS

Conforme los cometas se acercan al Sol, como consecuencia del viento solar y de la constitución helada y polvorienta del cometa, sueltan el polvo que produce la mayoría de las lluvias de meteoros. Los gases y materiales de la superficie del cometa al salir despedidos al espacio, quedan orbitando al Sol, con órbitas similares a las de su cometa de origen.

Cada vez que la Tierra atraviese la estela de polvo cometario, o una región de desechos cósmicos a lo largo de su órbita, se generará una lluvia de meteoros fruto de su encuentro con los fragmentos de esa corriente o anillo de partículas. El efecto luminoso del polvo, lo produce la ionización de la atmósfera que genera la partícula.

Conforme estos van entrando a la atmósfera de la Tierra a velocidades extremadamente altas, los fragmentos más pequeños del tamaño de la arena se queman produciendo las denominadas estrellas fugaces, y los más grandes con masas de gramos, los bólidos o bolas de fuego. La constelación del cielo a partir del cual surge dicha lluvia, o lugar de procedencia del denominado radiante, es el que le da nombre a la lluvia de meteoros.

A continuación, la lista de lluvias de meteoros creada por la Organización Internacional de Meteoros IMO <http://www.imo.net> para el 2017.

Lluvia	Período de Actividad	Máximo		Radiante		V_infinito km/s	r	THZ
		Fecha	sol	$\alpha$	$\delta$			
Cuadrántidas (QUA)	Ene 01-Ene 05	Ene 03	283°16	230°	+49°	41	2.1	120
$\delta$ -Cáncridas (DCA)	Ene 01-Ene 24	Ene 17	297°	130°	+20°	28	3.0	4
$\alpha$ -Centáuridas (ACE)	Ene 28-Feb 21	Feb 07	319°2	210°	-59°	56	2.0	6
$\delta$ -Leónidas (DLE)	Feb 15-Mar 10	Feb 24	336°	168°	+16°	23	3.0	2
$\gamma$ -Nórmidas (GNO)	Feb 25-Mar 22	Mar 13	353°	249°	-51°	56	2.4	8
Virgínidas (VIR)	Ene 25-Abr 15	(Mar 24)	(4°)	195°	-04°	30	3.0	5

Lluvia	Período de Actividad	Máximo		Radiante		V_infinito km/s	r	THZ
		Fecha	sol	$\alpha$	$\delta$			
Líridas (LYR)	Abr 16-Abr 25	Abr 22	032°32	271°	+34°	49	2.1	18
$\pi$ -Púppidas (PPU)	Abr 15-Abr 28	Abr 24	033°5	110°	-45°	18	2.0	var
$\eta$ -Acuáridas (ETA)	Abr 19-Mayo 28	Mayo 05	045°5	338°	-01°	66	2.4	60
Sagitáridas (SAG)	Abr 15-Jul 15	(Mayo 19)	(59°)	247°	-22°	30	2.5	5
Junio Bootidas (JBO)	Jun 26-Jul 02	Jun 27	095°7	224°	+48°	18	2.2	var
Pegásidas (JPE)	Jul 07-Jul 13	Jul 09	107°5	340°	+15°	70	3.0	3
Julio Phoenícidas (PHE)	Jul 10-Jul 16	Jul 13	111°	032°	-48°	47	3.0	var
Piscis Austrínidas (PAU)	Jul 15-Ago 10	Jul 28	125°	341°	-30°	35	3.2	5
$\delta$ -Acuáridas Sur (SDA)	Jul 12-Ago 19	Jul 28	125°	339°	-16°	41	3.2	20
$\alpha$ -Capricórnidas (CAP)	Jul 03-Ago 15	Jul 30	127°	307°	-10°	23	2.5	4
$\iota$ -Acuáridas Sur (SIA)	Jul 25-Ago 15	Ago 04	132°	334°	-15°	34	2.9	2
$\delta$ -Acuáridas Norte (NDA)	Jul 15-Ago 25	Ago 08	136°	335°	-05°	42	3.4	4
Perseidas (PER)	Jul 17-Ago 24	Ago 12	140°	046°	+58°	59	2.6	100
$\kappa$ -Cígnidas (KCG)	Ago 03-Ago 25	Ago 17	145°	286°	+59°	25	3.0	3
$\iota$ -Acuáridas Norte (NIA)	Ago 11-Ago 31	Ago 19	147°	327°	-06°	31	3.2	3
$\alpha$ -Aurígidas (AUR)	Ago 25-Sep 08	Sep 01	158°6	084°	+42°	66	2.6	10
$\delta$ -Aurígidas (DAU)	Sep 05-Oct 10	Sep 09	166°7	060°	+47°	64	2.9	5
Píscidas (SPI)	Sep 01-Sep 30	Sep 19	177°	005°	-01°	26	3.0	3
Dracónidas (GIA)	Oct 06-Oct 10	Oct 08	195°4	262°	+54°	20	2.6	var
$\epsilon$ -Gemínidas (EGE)	Oct 14-Oct 27	Oct 18	205°	102°	+27°	70	3.0	2
Oriónidas (ORI)	Oct 02-Nov 07	Oct 21	208°	095°	+16°	66	2.5	23
Táuridas Sur (STA)	Oct 01-Nov 25	Nov 05	223°	052°	+13°	27	2.3	5
Tauridas Norte (NTA)	Oct 01-Nov 25	Nov 12	230°	058°	+22°	29	2.3	5
Leónidas (LEO)	Nov 14-Nov 21	Nov 17	235°27	153°	+22°	71	2.5	20+
$\alpha$ -Monocerótidas (AMO)	Nov 15-Nov 25	Nov 21	239°32	117°	+01°	65	2.4	var
$\chi$ -Oriónidas (XOR)	Nov 26-Dic 15	Dic 02	250°	082°	+23°	28	3.0	3
Phoenícidas Dic (PHO)	Nov 28-Dic 09	Dic 06	254°25	018°	-53°	18	2.8	var
Púppidas/Vélicas (PUP)	Dic 01-Dic 15	(Dic 07)	(255°)	123°	-45°	40	2.9	10
Monocerótidas (MON)	Nov 27-Dic 17	Dic 09	257°	100°	+08°	42	3.0	3
$\sigma$ -Hídridas (HYD)	Dic 03-Dic 15	Dic 12	260°	127°	+02°	58	3.0	2
Gemínidas (GEM)	Dic 07-Dic 17	Dic 14	262°2	112°	+33°	35	2.6	120



Lluvia	Período de Actividad	Máximo		Radiante		V_infinito km/s	r	THZ
		Fecha	sol	α	δ			
Coma Berenícidas (COM)	Dic 12-Ene 23	Dic 19	268°	175°	+25°	65	3.0	5
Úrsidas (URS)	Dic 17-Dic 26	Dic 22	270°7	217°	+76°	33	3.0	10

**Lecturas complementarias N°7:**

<p><u><i>Amenaza para la Reserva de Río Blanco en Manizales.</i></u></p> <p><u><i>Astrofísica y Las Estrellas.</i></u></p> <p><u><i>Caldas: marco territorial e histórico.</i></u></p> <p><u><i>Cambio climático y sustentabilidad del territorio.</i></u></p> <p><u><i>Corrupción y clientelismo: incultura cívica.</i></u></p> <p><u><i>Clima extremo, desastres y refugiados.</i></u></p> <p><u><i>Desarrollo energético y clima salvaje.</i></u></p> <p><u><i>Dinámicas del clima andino colombiano.</i></u></p> <p><u><i>Eje Cafetero: Cambio climático y vulnerabilidad territorial.</i></u></p> <p><u><i>El volcán y el desastre de Armero.</i></u></p> <p><u><i>Cumanday, ¿el león dormido?</i></u></p> <p><u><i>El Ruiz, amerita medidas de prevención y no pánico.</i></u></p> <p><u><i>El desastre en el río Mira.</i></u></p> <p><u><i>El siniestro de Mocoa, designio de la imprevisión.</i></u></p> <p><u><i>Gestión ambiental del riesgo en el territorio.</i></u></p> <p><u><i>Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia.</i></u></p> <p><u><i>Gestión del Riesgo por Sismos, Volcanes y Laderas en la Política Ambiental de Manizales.</i></u></p>	<p><u><i>Guerra o Paz, y disfunciones socio-ambientales en Colombia.</i></u></p> <p><u><i>Huella hídrica en Colombia.</i></u></p> <p><u><i>Huracanes y Terremotos acechan.</i></u></p> <p><u><i>Introducción a la teoría económica.</i></u></p> <p><u><i>La Astronomía en Colombia: perfil histórico.</i></u></p> <p><u><i>Introducción a la teoría económica.</i></u></p> <p><u><i>La Astronomía en Colombia: perfil histórico.</i></u></p> <p><u><i>La Cosmología de Stephen Hawking.</i></u></p> <p><u><i>La economía azul en la esfera de la producción.</i></u></p> <p><u><i>La Luna</i></u></p> <p><u><i>La SMP de Manizales 107 años en la construcción del territorio.</i></u></p> <p><u><i>Laderas del Trópico Andino: caso Manizales.</i></u></p> <p><u><i>Laudato sí: El Cuidado de la Casa Común. Memorias.</i></u></p> <p><u><i>Mecánica Planetaria.</i></u></p>	<p><u><i>Páramos vitales para la Ecorregión Cafetera.</i></u></p> <p><u><i>Plan de ordenación y manejo ambiental cuenca del río Guarinó: fase prospectiva.</i></u></p> <p><u><i>Río Blanco: el legado de Conrado Gómez Gómez.</i></u></p> <p><u><i>Un pacto con la sociedad y la naturaleza.</i></u></p> <p><u><i>Un SOS por la bambusa guadua.</i></u></p> <p><u><i>Haití sin resiliencia para el desastre.</i></u></p> <p><u><i>Hidro-Ituango: una lectura a la crisis</i></u></p> <p><u><i>Huracán Iota: tifón que abate a San Andrés.</i></u></p> <p><u><i>Huracanes y terremotos acechan.</i></u></p> <p><u><i>La encrucijada ambiental de Manizales.</i></u></p> <p><u><i>Laderas del Trópico Andino: caso Manizales</i></u></p> <p><u><i>Llega el invierno, ¿pero la vulnerabilidad qué?</i></u></p> <p><u><i>No hay más terremotos, simplemente desastres más grandes.</i></u></p> <p><u><i>ONG: desarrollo sostenible, gestión del riesgo y cambio climático.</i></u></p> <p><u><i>Por falta de bosques con el agua al cuello.</i></u></p> <p><u><i>Tiempo y Calendarios.</i></u></p>
--	---	--

...

UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
COLOMBIA (1867-2017)



**GUÍA ASTRONÓMICA**

Gonzalo Duque-Escobar

**MANIZALES, 2020**

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3252>

Anexo 1: Colombia tropical: ¿y el agua qué?.	Anexo 12: La Luna
Anexo 2: Calentamiento global en Colombia	Anexo 13: Cultura y Astronomía (C&A)
Anexo 3: Aspectos geofísicos y amenazas naturales en los Andes de Colombia.	Anexo 14: Astronomía en La Edad Media y el Renacimiento.
Anexo 4: El camino a las estrellas.	Anexo 15: Sol, lunas y planetas.
Anexo 5: Isaac Newton	Anexo 16: Manual de geología para ingenieros
Anexo 6: Albert Einstein.	Anexo 17: Riesgo sísmico: los terremotos.
Anexo 7: Stephen Hawking	Anexo 18: CTS, Economía y Territorio.
Anexo 8: Geotecnia para el trópico andino.	Anexo 19: Cultura y Turismo en Caldas.
Anexo 9: Preservación Ambiental e Hídrica del Paisaje Cultural Cafetero.	Anexo.20: El Río Cauca y el desarrollo de la región.
Anexo 10: Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial.	Anexo 21: Videos: Temas de Astronomía y Medio Ambiente.
Anexo 11: Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia.	Anexo.22: UMBRA: la Ecorregión Cafetera en los Mundos de Samoga.
Enlaces U.N.: Textos “verdes”	<b>El Autor: Gonzalo Duque-Escobar</b>

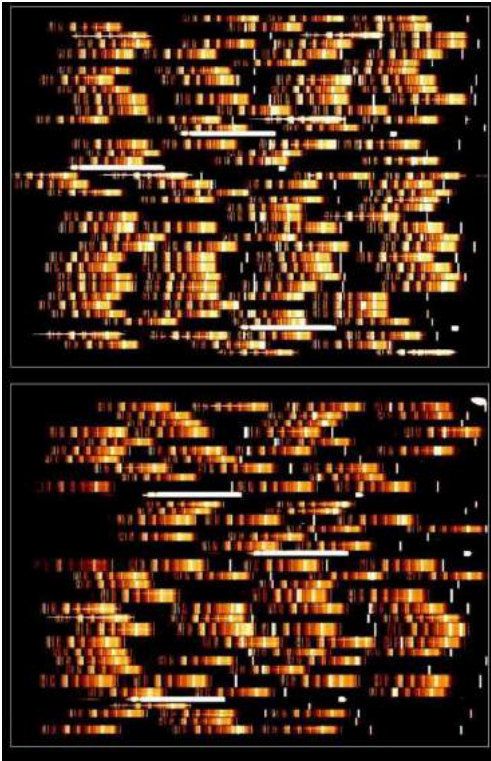
**HOME:**

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3252>

CONTENIDO: PRESENTACIÓN. GUÍA Nº 1. HISTORIA DE LA ASTRONOMÍA. GUÍA Nº 2. COORDENADAS ASTRONÓMICAS. GUÍA Nº 3. ELEMENTOS DE MECÁNICA PLANETARIA. GUÍA Nº 4. TIEMPO Y CALENDARIOS. GUÍA Nº 5. EL SISTEMA SOLAR. GUÍA Nº 6. SOL, LUNAS Y PLANETAS. GUÍA Nº 7. COSMOGRAFÍA. GUÍA Nº 8. ELEMENTOS DE ASTROFÍSICA. GUÍA Nº 9. LAS ESTRELLAS. GUÍA Nº 10. LAS GALAXIAS. GUÍA Nº 11. EL UNIVERSO. GUÍA Nº 12. TEORÍAS COSMOGÓNICAS. GUÍA Nº 13. ASTRONOMÍA EN COLOMBIA. BIBLIOGRAFÍA

**A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.**





UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
COLOMBIA (1867-2017)



GUÍA ASTRONÓMICA

Gonzalo Duque-Escobar

GUÍA N° 8

ELEMENTOS DE  
ASTROFISICA

Espectros de galaxias lejanas. European Southern Observatory, ESO

## 8.1. PARTICULAS ELEMENTALES

Dalton a principios del siglo XIX, propuso como bloque elemental de la materia los átomos. A principios del siglo XX, Rutherford descubre que el átomo posee electrones en torno a un núcleo, atados por fuerzas electromagnéticas. Para investigar el núcleo se construyen los aceleradores de protones y las colisiones ponen en evidencia partículas elementales, que a mediados de los 60 se dan a conocer. Ellas tienen propiedades como masa, spin y estabilidad.

Todo esto y lo que continúa alude a la materia bariónica; no a la materia oscura ni a la energía oscura, tema que se tratará en el aparte 12-8, titulado “El misterioso lado oscuro del Universo”.

La **masa** puede ser cero; masa y energía también pueden ser intercambiables. Por eso en los procesos de creación de masa a partir de energía, se pueden generar partículas donde antes no había ninguna. Las masas se miden normalmente en **giga- electronvoltios (GeV)**, unidad correspondiente a  $10^9$  veces la energía necesaria para mover un electrón a través de un voltio. La masa del protón es algo inferior a un GeV. Tal unidad también sirve para medir energía.

El **spin** es una propiedad análoga a la rotación de la Tierra sobre su eje. A nivel cuántico, esa rotación no tiene un período tan libre como el de los planetas. Las partículas sólo pueden girar a ciertas velocidades bien definidas. Cabe el término de velocidad de rotación básica como unidad fundamental. Tal velocidad se puede calcular, y la del protón, por ejemplo, es  $10^{22}$  revoluciones completas por segundo. Es que las velocidades de rotación son ciertos múltiplos definidos de esa unidad fundamental. Por ejemplo, el doble o la mitad de rápido, y no tres cuartos o dos tercios de esa velocidad. Si para el protón este número es  $\frac{1}{2}$ , para la Tierra es del orden de  $10^{61}$ . En otras palabras, el protón gira precisamente a la mitad de la velocidad de rotación básica que la mecánica cuántica le asigna.

La **estabilidad** tiene pocas excepciones en las partículas elementales. Al final casi todas se desintegran dando lugar a otras partículas más ligeras. Por ejemplo, un neutrón libre desaparecerá tarde o temprano para dar origen a un protón, un electrón y una partícula sin masa llamada neutrino. Si el anterior proceso es lento (más de 10 minutos), otros son tan cortos como  $10^{-23}$  seg.

Se han descubierto cientos de partículas casi todas inestables, algunas elementales, otras no porque esperando pueden desintegrarse. Organizar y clasificar partículas tiene una especie de imagen especular de la clasificación en las **antipartículas**, y supone utilizar una de las propiedades señaladas. Pueden clasificarse por el spin, por los productos de desintegración o por la interacción.

Por el spin, si es semientero tenemos **fermiones** (protón, electrón, neutrón, neutrinos, etc.), si es entero o cero se llaman **bosones**. No se ha observado interacción entre fermiones y bosones. Esperando un tiempo suficiente, para dejar que los productos de desintegración se desintegren, por último llegamos a un conjunto de partículas estables con dos posibilidades, en cuanto al número de protones y antiprotones: o predomina uno de ellos o no hay exceso de uno de los conjuntos. En el primer caso la partícula original se llama **barión**, en el segundo **mesón**. Los bariones son una familia de partículas subatómicas formadas por tres quarks. Un mesón es un bosón que responde a la interacción nuclear fuerte, esto es, un hadrón con un espín entero. En el Modelo estándar, los mesones son partículas compuestas en un estado quark-antiquark.

Desde el punto de vista de las interacciones hay tres clases: **Leptones** (no interaccionan fuertemente), **Quarks** (pueden tener tres colores), **Bosones** (transmiten interacciones). El número de partículas y antipartículas es 48.

### 8.1.1 Leptones

Son el electrón y los mesones muón y del tau, con sus correspondientes neutrinos: electrónico, muónico y del tau. Todos tienen espín  $\frac{1}{2}$  tomando como unidad la constante  $h$  de Planck. En las tres primeras la carga es  $-1$  y en los neutrinos es  $0$ , tomando como base la carga del protón. Las masas son en su orden:  $e = 0.511$ ;  $\mu = 105.7$ ;  $\tau = 1780$ ;  $V_e < 10^{-5}$ ;  $V_\mu < 0.65$ ;  $V_\tau < 250$ , tomando los valores en MeV, o sea en millones de electronvoltios. De todos, el electrón es estable, las partículas  $\mu$  y  $\tau$  no son estables y los neutrinos  $V_e$ ,  $V_\mu$ ,  $V_\tau$ , parecen ser estables. El espín mide la rotación intrínseca de la partícula. Además cada una de las partículas tiene su antipartícula con carga contraria.

### 8.1.2 Los Quarks

Se necesitan tres para formar un protón o un neutrón. Ellos son: u (arriba), d (abajo), c (encantado), s (extraño), t (cima), b (fondo). Si los seis tienen espín  $\frac{1}{2}$ , en los quarks u, c y t la carga es  $\frac{2}{3}$  y en d, s y b es  $-\frac{1}{3}$ . Las masas son: u = 4?, d = 8?, c = 1150?, t =?, b = 4500? Si los cuatro últimos son inestables y el d sólo en los protones, el u resulta estable.

Los quarks constituyen los **hadrones** agrupándose en tríos; los ocho hadrones son el protón, el neutrón, sigma neutro, sigma positivo, sigma negativo, Xi neutro, Xi negativo, y Lambda. Los **mesones** se constituyen por un quark y un antiquark. De los mesones tenemos el Pion (+), el Pion (-), el Kaon neutro, el Kaon (+), el Antikaon neutro. Los colores de los quarks: azul, amarillo o rojo, no son color propiamente dicho, sino un tipo de carga diferente de la carga eléctrica dada para cada uno.

### 8.1.3 Bosones

Los bosones son el fotón, el gravitón, los gluones y las partículas W y Z. Si a los quarks y leptones se les llama **fermiones** por tener espín  $\frac{1}{2}$ , los bosones tienen espín "no fragmentario", así: fotón = 1; W = 1; Z = 1; gluón (8 tipos) = 1; gravitón = 2. El intercambio de bosones virtuales entre dos fermiones produce las **cuatro fuerzas** de la naturaleza: el electromagnetismo (fotón), la gravedad (gravitón), la fuerza débil (W y Z), la fuerza fuerte (gluón). A excepción de la partícula W cuya carga es -1, los otros cuatro mensajeros no tienen carga. Sólo el fotón y el gravitón son estables y no tienen masa, la masa de W = 80000?, de Z = 90000? y los 8 gluones parece que no tienen masa. El gravitón, el fotón y Z son ellos su misma antipartícula.

## 8.2. LAS FUERZAS FUNDAMENTALES

En la actualidad hay cuatro fuerzas fundamentales conocidas. Las fuerzas de la gravedad y del electromagnetismo son familiares a la humanidad gracias a que su alcance es infinito. Las dos restantes fuerzas escapan a nuestros sentidos por operar a nivel subatómico. Estas son la interacción fuerte y la débil, responsables, la primera de mantener unidos los protones en el núcleo, pese a su idéntica carga, y la segunda de gobernar la desintegración de los elementos radioactivos. Por su intensidad, la primera es la interacción fuerte, le sigue la fuerza electromagnética, luego la interacción débil y por último la gravedad. Si Newton demostró que la fuerza que rige la caída de las manzanas y el movimiento de los astros, es la misma, Maxwell unió la electricidad y el magnetismo en una sola fuerza.

¿Cuándo aparecen las fuerzas? La gravedad aparece a los  $10^{-43}$  seg de ocurrido el Big Bang, la nuclear fuerte aparece a los  $10^{-35}$  seg y las dos restantes, electromagnética y nuclear débil, a los  $10^{-10}$  seg se separan.

El **principio de incertidumbre** indica que es posible la creación de una partícula, siempre que la partícula en cuestión sea reabsorbida inmediatamente, antes de que sea factible la medición que detecte la violación a la ley de conservación de la energía. Es que los físicos modernos consideran las fuerzas fundamentales como un intercambio de partículas, lo que aparentemente se prohíbe en esta ley de la Termodinámica, ya que se requeriría que la energía de la masa de la partícula intercambiada, se creara a partir de la nada.

Según el **principio de exclusión**, un sólo fermión puede viajar por el espacio en una determinada dirección, con una determinada energía. Esta restricción no rige para los bosones, quienes pueden ir en gran cantidad con la misma dirección y energía formando ondas coherentes. Si la radiación es gravitatoria o electromagnética es porque hay movimiento acelerado de masas o cargas, respectivamente.

### 8.3. VARIABLES ESTELARES

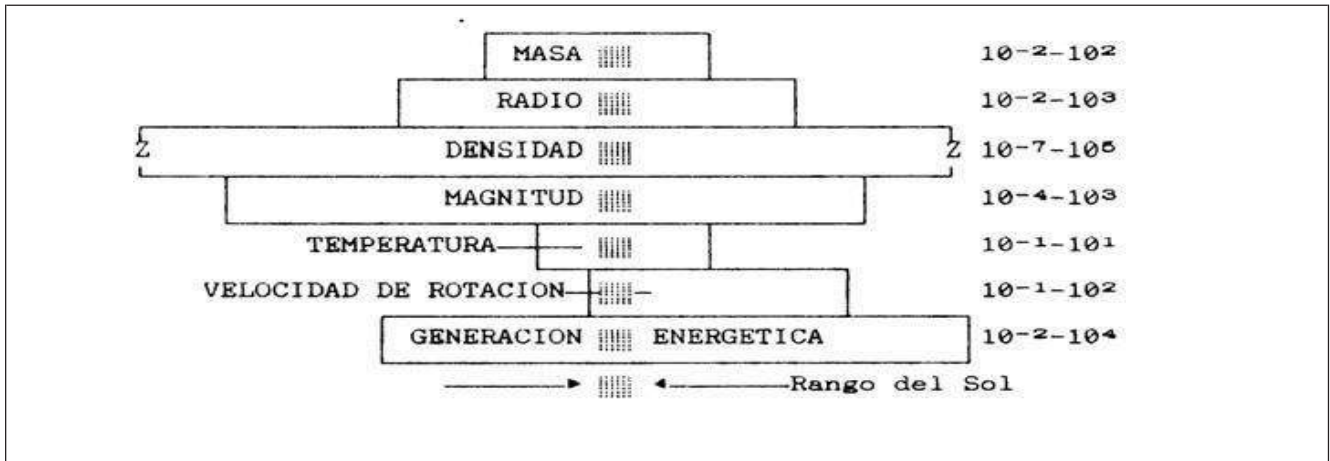


Figura 8.1. Rango las variables estelares: dominio de variación de las magnitudes de estado de las estrellas en comparación con el valor del Sol.

Según vimos si un haz de luz solar pasa por un diafragma en forma de rendija e incide sobre un prisma, la luz se descompondrá en distintos colores, es decir, en un espectro. Son muchas las variables físicas que pueden conseguirse a través del análisis espectral y de la medición de algunas variables estelares, como la distancia por métodos geodésicos. Estas variables van resultando interrelacionadas, si se hace uso de una herramienta tan poderosa como el **diagrama H-R**.

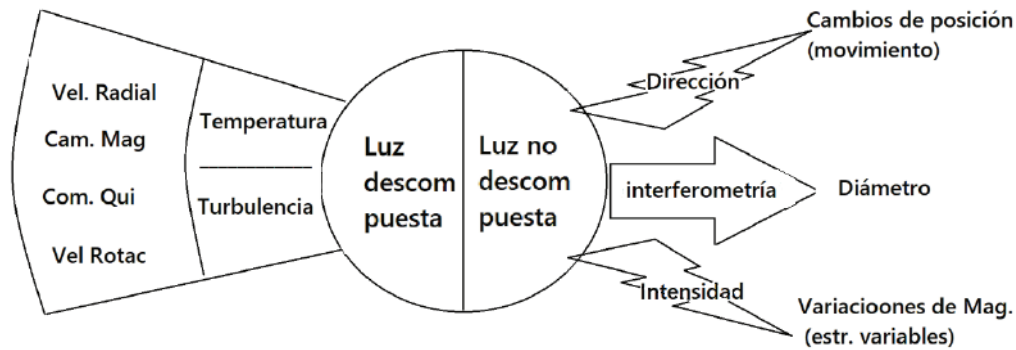


Figura 8.2. Análisis de la luz de una estrella: a la derecha, con luz no descompuesta se evalúan velocidad radial y angular, composición, y campo magnético; y a la izquierda con luz descompuesta, espectrográficamente: movimientos, tamaño e inestabilidad estelar.



**8.4. ESTRELLAS NOTABLES****8.4.1 Las 10 estrellas más próximas**

Paralaje mayor que 0.30".

Cuadro 8.1 Las 10 estrellas más próximas

NOMBRE	PARALAJE	MAGNITUD APARENTE
Próxima Centauro	0.762"	10.7 <sup>m</sup>
$\alpha$ Centauro	0.751	0.3
Estrella de Barnard	0.545	9.5
Lobo 359	0.425	13.7
Lalande 21 185	0.392	7.5
L 726-8	0.385	12.4
Sirio	0.375	-1.5
Ross 154	0.351	10.6
Ross 248	0.316	12.2
$\varepsilon$ Eridano	0.303	3.7

**8.4.2. Las estrellas más luminosas**

Cuadro 8.2 Las estrellas más luminosas

Estrella(constelación)	Mg visual	Dist a.l	Brillo(sol=1)	Color	Temp °C
Sirio (Perro Mayor)	-1.44	8.8	22	amarillo blanq	8000 a 12000
Canopus (Quilla de Barco)	- 0.77	550	8600	blanco amarillo	6000 a 8000
$\alpha$ Centauri (Centauro)	- 0.27	4.3	1.3	amarillo	5000 a 6000
Arturo (Boyero)	- 0.05	36	200	amarillo rojizo	3500 a 5000
Vega (Lira)	0.03	26	50	amarillo blanq	8000 a12000
Capella (Auriga)	0.09	45	120	amarillo	5000 a 8000
Rigel (Orión)	0.11	880	>100000	blanco	12000 a 15000
Proción (Perro Menor)	0.36	11	5	blanco amarillo	6000 a 8000
Achemar (Eridano)	0.55	115	210	blanco	12000 a15000
Centauri (Centauro)	0.69	430	1200	blanco	12000 a15000
Betelgeuse (Orión) <sup>2</sup>	0.4-1.3	600	> 10000	rojo amarillento	3000 a 3500
Altair (Aguila)	0.77	16	10	amarillo blanquecino	8000 a12000
Aldebarán (Tauro)	0.80	68	> 100	amarillo rojizo	3500 a 5000
Crucis (Cruz del Sur)	0.81	265	1300	blanco	12000 a 15000
Antares (Escorpión) <sup>2</sup>	0.9-1.8	420	>10000	rojo amarillento	3000 a 3500

Fuente: Diccionario Rioduero Física del Espacio y otros

## 8.5. ESTRELLAS DOBLES

Estrellas **dobles**: son dobles ópticas si estando separadas, sólo coinciden con la visual y dobles físicas si se mueven alrededor de un centro de gravedad común.

Como ejemplo de estrellas **dobles ópticas**, donde las estrellas no se corresponden espacialmente, sino que sólo por casualidad están en la misma dirección de observación, tenemos: Alkor y Mizar, en la constelación de la Osa Mayor.

Las estrellas **dobles físicas**, pueden ser **físicas** ópticas o espectroscópicas, según puedan verse ópticamente o si sólo se puede reconocer su naturaleza a partir de las variaciones de las líneas espectrales, aplicando la teoría del desplazamiento Doppler. En éste segundo caso se denominarán **estrellas dobles fotométricas**, pues es la fotometría, aplicada al estudio de los brillos de las estrellas binarias, la que identifica estrellas tan próximas que parecen ser una sola, incluso al observarla con los telescopios más potentes.

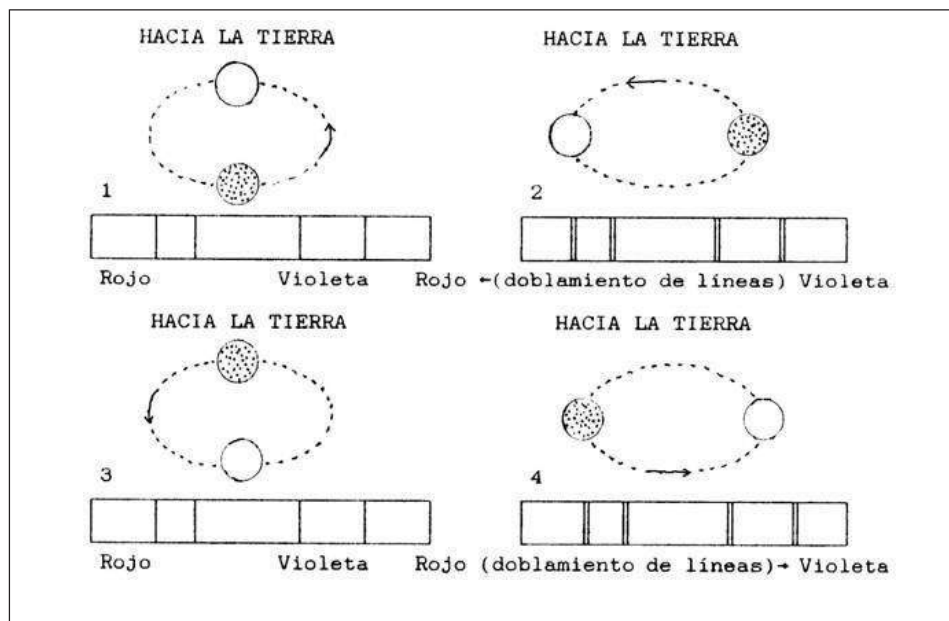


Figura 8.3. Espectros de un sistema de estrellas dobles: se observan las relaciones de los movimientos en una estrella doble espectroscópica. En las posiciones 1 y 3, las líneas espectrales están en su posición normal. En la posición 2, las líneas se han desplazado hacia el rojo y en 4, hacia el violeta (doblamiento de líneas). Un 25% de las estrellas fijas son **sistemas múltiples** como los sistemas dobles físicos. Se trata de varios astros que se mueven alrededor de un centro de gravedad común.

Se deducen la mayoría de los datos sobre las masas, radios y densidades de las estrellas, aplicando el problema de los dos cuerpos planteado en la Guía 3, fig. 3.8, el cual tiene solución en la mecánica celeste; del movimiento sistemático de algunas estrellas dobles se deducen acompañantes invisibles semejantes a planetas, por el problema de los tres y más cuerpos, el cual admite varias soluciones.

**Variables eclipsantes** son estrellas dobles físicas cuyo plano orbital aparece de perfil al observador. En este caso la luminosidad o brillo del sistema resulta periódico.

**Envoltura gaseosa de las estrellas dobles.** En realidad las estrellas no son esféricas, pues normalmente rotan alrededor de un eje imaginario. Las estrellas gigantes más lentamente y las enanas más aprisa, pues parte de la energía de colapso se ha convertido en energía cinética. A mayor rotación mayor achatamiento. Las estrellas de la secuencia principal tipo O, B y A giran en grado apreciable, en las del tipo F la velocidad de rotación disminuye, y desaparece prácticamente en el tipo F5.

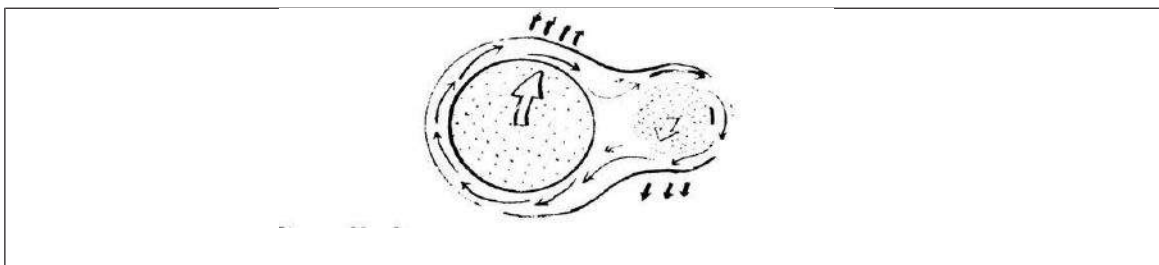


Figura 8.4. Sistema binario con intercambio de masa: se muestra la envoltura gaseosa conjunta alrededor de un par de estrellas dobles; las flechas indican la corriente de gas de una estrella que alcanza la fase de gigante. Ese intercambio supone se modifica la posición del centro de masas y los tiempos de vida de ambos astros

Cuando el sistema es doble las estrellas rotan alrededor de un centro de masa y giran sobre su propio eje. Ambos movimientos tienden a establecerse con regularidad, en cuanto al paralelismo de los ejes de movimiento y los sentidos de movimiento de cada miembro y del sistema. Así y todo, ni el sistema ni los miembros estelares son rígidos. En estos casos se establece un flujo de gas de una de las estrellas de una binaria a la otra. La transferencia de masa sucede cuando una de las estrellas ha crecido lo suficiente para alcanzar su lóbulo de Roche, volumen en forma de ocho del espacio que hay alrededor de una binaria.

## 8.6. ESTRELLAS VARIABLES

Las estrellas variables pueden ser Pulsantes, Explosivas y de otros tipos. Las Pulsantes se subdividen en categorías como RR Lyrae, Cefeidas e Irregulares. Las explosivas son las propias novas, y las variables de otro tipo son estrellas que varían por razones físicas diversas.

**8.6.1. Variables pulsantes:** Para clasificarlas, se habla de población y período. Las estrellas de Población I son de alto contenido metálico, segunda o tercera generación y tienden a ser luminosas, calientes y jóvenes, y están concentradas en los discos de las galaxias espirales. Las estrellas de Población II son de bajo contenido metálico, de primera generación y tienden a encontrarse en los cúmulos globulares y en el núcleo de una galaxia.

**Tipo RR Lyrae:** son estrellas variables de período corto con duración de una a 24 horas. Pertenecen a la población I. Dentro del mismo rango de temperaturas superficiales de estas estrellas, aparece el grupo de las Cefeidas Enanas, constituido por estrellas de menor brillo. **Tipo Cefeidas:** como las Clásicas de la población I y las denominadas W de la Virgen de la población II. Las primeras con mayor brillo que las segundas, pero unas y otras pertenecen al mismo rango de temperatura superficial. **Tipo Mira de la Ballena:** son variables con períodos entre 83 y 1374 días, escasa temperatura superficial y diámetro enormemente grande



En las **Novas** se trata de variables periódicas en las cuales las pulsaciones se han hecho extremas.

Previamente las pulsaciones se van acelerando hasta que finalmente la expansión se hace explosiva y la sección más externa de las cefeidas estalla abriantando temporalmente la estrella de manera desmesurada. Las pulsaciones se normalizan posteriormente.

Las **Supernovas** se dan en estrellas de gran masa, aquí la temperatura interna de miles de millones de grados centígrados permite la producción masiva de fotones y neutrinos. Los neutrinos no se absorben por la materia, los fotones sí.

Cuando una producción masiva de neutrinos, llevando consigo energía, abandona el núcleo estelar de manera súbita, se pierde el soporte termonuclear que sostiene la estrella, e implosiona la masa. Este súbito colapso genera hierro por fusión gracias a la nueva energía de acreción, pero también su posterior fisión en helio, liberando la energía acumulada de manera explosiva. En la explosión se forman núcleos más complejos que el hierro y también se lanza con violencia la envoltura constituida por elementos menores.

Como resto de la supernova podrá quedar una densa estrella apagada, cuya naturaleza dependerá de la masa remanente.

### 8.6.3 De otro tipo

En las de **otro tipo**, sobresalen los **Pulsares** que son estrellas neutrónicas con intenso campo magnético, cuyo eje está orientado en dirección diferente al eje de rotación del astro. También, las emisoras de **Rayos X** que son un tipo de estrella superdensa que recibe masa de su compañera gigante roja. Esta radiación supone un colapso de materia acompañado de un incremento de la temperatura del orden de  $T \geq 1000000 \text{ } ^\circ\text{C}$ , explicado por energía de acreción.

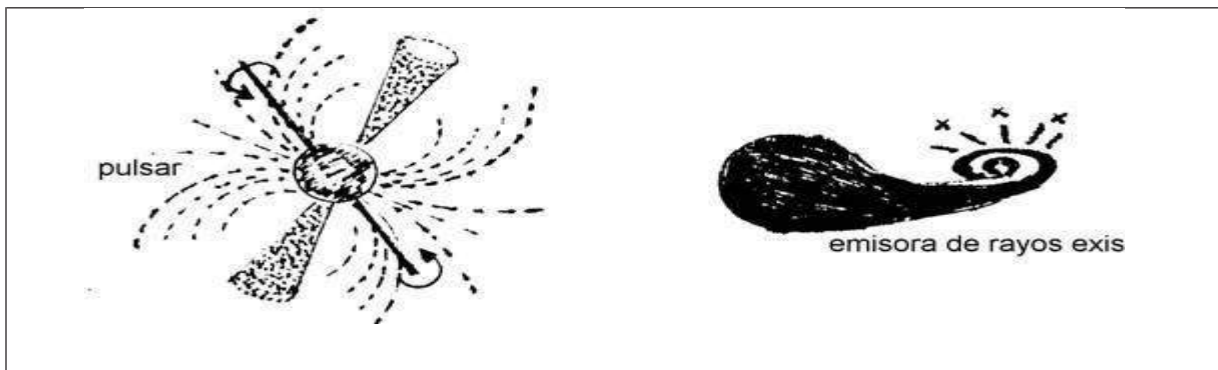


Figura 8.6. Pulsar y emisora de rayos X: el pulsar (izq) sugiere direcciones no conformes de los ejes de rotación y magnético de una e. neutrónica, y de las emisoras de rayos X (der), suponen estrellas masivas que capturan masa de su compañera en la fase de gigante.

Pero en general, las más connotadas son las Pulsantes Regulares ya mencionadas donde las pulsaciones o fluctuaciones tienen períodos proporcionales a su magnitud absoluta y por tal razón resultan útiles para calibrar distancias, pues son ellas verdaderos **faros del Universo**.

## 8.7. FÍSICA DE PARTÍCULAS

### A. Una proeza tecnológica y un desafío para los cosmólogos.





Figura 8.7. Panorámica del LHC. Química-ITI-12-13 - Wikispaces

Sin duda alguna la noticia de la semana ha sido el notable experimento conseguido en el Laboratorio Europeo de Física de Partículas (CERN), situado en Ginebra (Suiza), al hacer que unas partículas subatómicas circularan de manera estable a lo largo del Gran Colisionador de Hadrones, LHC, el acelerador de partículas más potente del mundo.

Después de esta un desafío para los cosmólogos en la que los científicos han logrado encender el LHC para hacer circular protones a lo largo de un túnel circular de 27 kilómetros, lo que permitirá auscultar propiedades de la materia en los meses venideros, en adelante será casi improbable que se construyan máquinas superiores para intentar nuevas aventuras de esta clase buscando trascender más allá de lo que ahora se logre y expandir así las fronteras del conocimiento.

La razón, dadas las inversiones que se demandan con el actual acervo tecnológico, las barreras económicas resultan ser, más que significativas, absolutamente insuperables.

Entonces, si esto parece ser un mal presagio para los “físicos particulares”, también es un desafío para los cosmólogos, quienes haciendo uso de otros recursos al alcance de nuestros países, como la imaginación y las matemáticas, podrán aplicarse a la investigación de punta y lograr hazañas que serán, más que de las máquinas, de la mente humana.

Y entonces, lo que logre la cosmología, podrá tener comprobación por la vía de la astronomía observacional, mediante la adquisición pasiva de datos, gracias a nuevos equipos y al desarrollo de técnicas, propios de la astrofísica.

Ed. RAC 484, September 12, 2008.

### B. LHC tras “La Partícula de Dios”

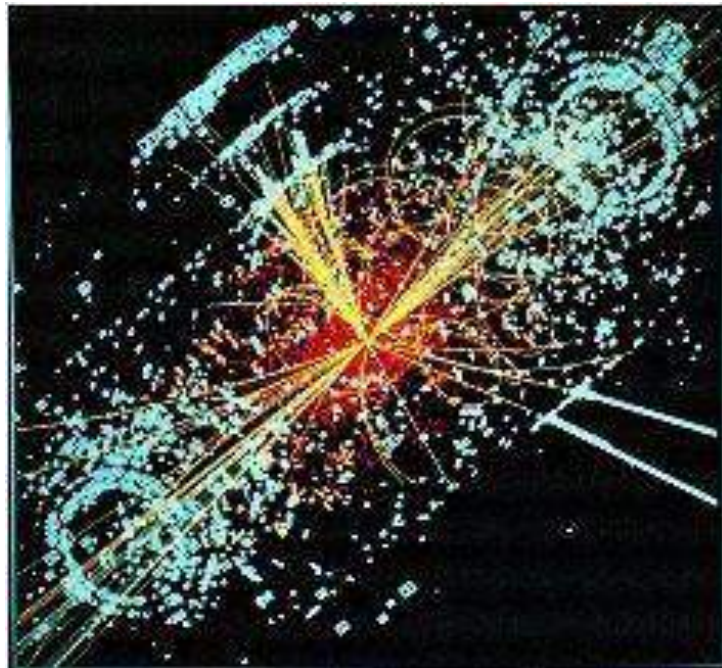


Figura 8.8. El “colosal” el hallazgo del Bosón de Higgs, en:

[http://isjtar.org/img/lhc\\_particlemovement.jpeg](http://isjtar.org/img/lhc_particlemovement.jpeg)

Con júbilo se ha logrado la primera fase de la experiencia que busca recrear el Big Bang en el Gran Colisionador de Hadrones LHC en un experimento a más del 99 por ciento de la velocidad de la luz y niveles de energía récord a escalas subatómicas, después de 16 años de un intenso y complejo trabajo científico y tecnológico destinado a lograr un instrumento útil para acelerar y colisionar partículas del mundo subatómico.

En efecto, en este súper equipo construido por el Consejo Europeo para la Investigación Nuclear CERN a un costo de U\$ 10 mil millones en las vecindades de Ginebra, y que con 27 km de circunferencia es la mayor máquina hasta hoy construida, el 30 martes de marzo de 2010 se obtuvieron las primeras colisiones de protones del LHC funcionando a media marcha, que llegaron a 7 TeV al enfrentar dos haces de protones que portaban por separado una energía de 3,5 TeV para el esperado choque frontal. Dentro de dos años el colisionador europeo funcionará a su potencia máxima de 14 TeV.

Según los investigadores, con el LHC teóricamente se espera confirmar la existencia del bosón de Higgs, un quantum conocido como “la partícula de Dios”, la única partícula del modelo estándar que no ha sido observada hasta el momento y cuya observación confirmaría los “enlaces perdidos” de las predicciones del Modelo Estándar de la física que explican propiedades como la masa adquiridas por otras partículas elementales.

Ed. Circular RAC 557 del 2/04/2010.

### **B- El Bosón de Higgs**

Posiblemente ninguna experiencia puede resultar más conmovedora en el mundo físico, que sumergirse en la inmensidad del Universo o en el enigmático mundo subatómico.



Figura 8.9. El Gran Colisionador de Hadrones, en: <http://www.bbc.com>

Aún más, para encontrar el punto común entre uno u otro habrá que retroceder hasta los instantes del “Big Bang”, porque allí nacen el tiempo real y el espacio a partir de una singularidad que solo parece encontrar alguna solución cuando se integran las teorías de la Relatividad de Albert Einstein y la Mecánica Cuántica, para desentrañar los enigmas de la naturaleza, origen y evolución del tiempo, y la métrica del espacio-tiempo dada su relación con los campos gravitatorios.

La detección de la estructura más pequeña de la materia alcanzada por el hombre, el bosón de Higgs que hasta el miércoles 4 de julio de 2012 actuaba como un fantasma por ser una partícula que la teoría científica había creado hace casi medio siglo, hecho que tuvo lugar en la sede de la Organización Europea para la Investigación Nuclear CERN sobre la frontera Franco-Suiza, resulta de gran relevancia no solo por lo que le aporta al Modelo Estándar- teoría cuántica de campos acorde con la Mecánica Cuántica y la Relatividad Especial donde se indaga el origen del Universo-, sino también por lo que significa en términos de la capacidad humana expresada en la ciencia y la tecnología y por los impactos frente a las inversiones que semejante empresa demanda.

Al inquirir la esencia de la materia y examinar las interacciones físicas en la naturaleza, la teoría no solo reconoce las partículas elementales que conforman masa y energía, llamadas fermiones, sino también los bosones que explican sus interacciones y producen las cuatro fuerzas fundamentales: la gravedad que escapa al Modelo Estándar y tres fuerzas más que allí se agrupan: el electromagnetismo asociado a los fotones, la interacción fuerte que “amarra” el núcleo de los átomos y la interacción débil que explica la radiactividad de elementos como el uranio.

La fuerza de la gravedad es la interacción fundamental explicada por el gravitón, que al deformar el espacio en las cercanías de un cuerpo celeste en su ámbito, origina la aceleración de cualquier objeto físico y dobla la trayectoria de la luz.

Entre esas pequeñas piezas del mundo subatómico al que pertenecen electrones y neutrinos, unas con carga, masa y más propiedades, y otras solo con algunas, y donde los quarks son los ladrillos que conforman los protones y neutrones que habitan el núcleo de los elementos descritos en la Tabla Periódica, también está el bosón de Higgs que es la clave para explicar los orígenes de la masa de estas partículas elementales, ahora capturado mediante investigaciones experimentales del LHC: el colisionador de hadrones del CERN instalado en un túnel de 24 km de circunferencia que permite acelerar protones en direcciones opuestas, instrumento creado para resolver la falta de evidencias científicas que gravitan sobre el Modelo Estándar con estos experimentos que se están avalando positivamente.

Los hadrones son partículas subatómicas compuestas por otras más elementales, tal cual ocurre con los protones conformados por los quarks que al responder a la fuerza electromagnética dada su carga positiva, pueden controlarse con el LHC hasta alcanzar una energía de 7 TeV para lograr una colisión de 14 TeV; el arreglo circular del LHC a diferencia de un acelerador lineal, permite colisiones a mayores niveles energéticos en espacios más reducidos. Existen objetos en el Universo, como los rayos gamma y los rayos cósmicos, que alcanzan aceleraciones a energías aún mayores.

Sin duda loable el trabajo del CERN, un laboratorio de más de dos mil millones de euros que empieza a funcionar en 2008 cuando disparó con éxito los primeros protones en el túnel del LHC, y que tras haber logrado en 2011 recrear con gran éxito un “mini Big Bang” eclipsa los aceleradores ya existentes cuando también había decidido ajustarse presupuestalmente al rigor de la crisis económica europea, para crear un clima propicio que le asegure su presupuesto de investigaciones. A este objetivo y problemática parece responder la denominación de “partícula de Dios” en una decisión que sacraliza el bosón de Higgs con efectos mediáticos.

Posiblemente ahora, cuando el desafío de la ciencia para los físicos “particulares” es llegar a la teoría de la Gran Unificación que contempla reunir tres fuerzas fundamentales de la naturaleza: la electromagnética y las dos del nivel atómico señaladas, puesto que la gravedad escapa a dicha hipótesis, las cuantiosas inversiones en futuros aceleradores de mayores energías necesarios para superar el estado del arte pero a costos geoméricamente crecientes y desorbitantes, con el descubrimiento han recibido un espaldarazo favorable en un escenario donde la ciencia debe priorizar los impactos socio-ambientales buscando respuestas a problemas fundamentales de la supervivencia humana que pasan por las agendas de humanistas y ecólogos, generalmente incómodas para los apetitos del mercado.

[Ref.: La Patria, Manizales, 2012-07-09]

## **8.8-LA REVOLUCIÓN NANOTECNOLÓGICA**

*RESUMEN: Los avances de la tecnología han llegado a campos insospechados revolucionado el siglo XX, con la nanociencia y nanotecnología, gracias al conocimiento y desarrollo de técnicas instrumentales sobre el comportamiento de estructuras extremadamente pequeñas o miniaturas, lo que crea estructuras funcionales gracias al control de los átomos y las moléculas de manera individual, lo que hace que las*

*nanopartículas sean interesantes, y que dicha tecnología se pueda aplicar en diferentes campos como la medicina, el medioambiente, y la electrónica, entre otros.*



Figura 8.10: La Nanotecnología, en <https://reportedigital.com/>

La nanotecnología, entendida como la ciencia y técnica de manipular la materia a escala atómica y molecular, con múltiples fines o aplicaciones que van desde la solución de problemas médicos o biológicos, pasando por la electrónica y generación energética con aplicación al transporte, las comunicaciones y la seguridad, hasta la producción de materiales con propiedades especiales a escala industrial, es un desarrollo que ofrece enormes beneficios al afectar la resistencia y propiedades eléctricas, químicas y magnéticas de los materiales, modificando y controlando a escala nanométrica su forma, tamaño y propiedades desde la estructura molecular por debajo de los 100 nanómetros, pese a sus desventajas y riesgos que veremos adelante.

La nanotecnología surgió gracias a inventos como el microscopio electrónico (Alemania 1930) que al utilizar electrones en lugar de luz visible aumenta la imagen de un objeto un millón de veces, contra 1500 veces de uno óptico; y el microscopio de efecto túnel (Suiza 1980) que permite captar imágenes de superficies a nivel atómico, y manipular los átomos para modificar las moléculas aprovechando el efecto cuántico de la materia para cambiar sus propiedades ópticas, magnéticas y eléctricas, convirtiendo por

ejemplo, cuerpos opacos de cobre en transparentes, sustancias inertes de platino en catalizadores, cuerpos estables de aluminio en combustibles, sólidos de oro a temperatura ambiente en líquidos, y aislantes de silicio en conductores eléctricos.

Colombia, consciente del potencial de la nanociencia y nanotecnología con sus impactos drásticos y acelerados, ha creado la Red-Nano (2013) y el Centro Nacional de Nanotecnología (2018) mirando su desafío para la educación y la industria, al asumir nuevos paradigmas y financiar la formación a alto nivel, para incursionar en la investigación aplicada y el estudio de los materiales como campo multidisciplinar de esta nueva área del conocimiento, que involucra directamente las ciencias físicas, de la vida y naturales, e indirectamente las ciencias sociales y del comportamiento por sus implicaciones en la biología molecular, la medicina, el medio ambiente y la seguridad, entre otros aspectos. La U.N. que en Bogotá tiene el grupo de Superconductividad y nanotecnología del Doctorado en Física, Forma en Manizales doctores en Física del Plasma, y en la Escuela de Minas además de la Maestría en Materiales y Procesos, ofrece la Especialización en Nanotecnología aplicada a hidrocarburos.

Hoy a nivel mundial, se reportan diez aplicaciones: 1- Nanobots administradores de fármacos, que sanan heridas y sustituyen la quimioterapia sin efectos secundarios. 2- Nanosensores para medir presión sanguínea y respiración, nivel de glucosa y colesterol, y anomalías cardíacas; o sensores de silicio y oro para detectar tumores. 3- Gel transparente resistente a radiación ultravioleta, para piel artificial sin inflamaciones o irritación cutánea. 4- Nanomaterial de silicio negro que destruye bacterias y esporas bacterianas. 5- Baterías de carga ultrarrápida con aminoácidos, que aguantan miles de ciclos. 6- Nanobaterías de óxido de litio del tamaño de un grano de arena, con carga y vida útil comparable a una batería normal. 7- Películas plásticas y envases de sílice polimérico resistentes al calor, que preservan alimentos impidiendo el flujo de humedad, dióxido de carbono y oxígeno. 8- Filtros para potabilización de agua, mediante hojas con recubrimiento de plata que atrapan el 99,9% de las bacterias. 9- Pantallas holográficas que reproducen imágenes en tres dimensiones con sensación del tacto y sin necesidad de gafas. 10- Producción de lentes de contacto de realidad aumentada, que combinan la visión real con contenidos virtuales a nivel de la retina.



Además de los beneficios de los desarrollos señalados que a corto plazo se están dando a pequeña escala, y de otros a mediano plazo que se anuncian como la fabricación de paneles solares más eficientes para generar energía económica, y de los nanotubos y membranas de carbono para construir –en su orden– turbinas eólicas más grandes, resistentes y livianas, y filtros para capturar el dióxido de carbono en plantas de energía que usan combustibles fósiles, habrá que considerar aspectos desfavorables de la nanotecnología, aparte del impacto económico derivado de su uso generalizado, como el mal aprovechamiento de la manipulación de la materia a escala atómica para invadir la privacidad o construir armas letales difícilmente detectables, a lo que se sumaría una nueva contaminación con partículas inhalables perjudiciales para los seres vivos. \* [Ref.: La Patria. Manizales, 2020.01.27]

**Lecturas complementarias N°8:**

<p><u><i>Aerocafé... cómo, qué y por qué.</i></u></p> <p><u><i>¿Ajustes a locomotora energética de Colombia?</i></u></p> <p><u><i>América Latina: oportunidades en la economía del conocimiento.</i></u></p> <p><u><i>Anotaciones para un crecimiento previsivo y con desarrollo.</i></u></p> <p><u><i>Deuda histórica con el Pacífico Colombiano.</i></u></p> <p><u><i>Dinámicas y contra rumbos del desarrollo urbano.</i></u></p> <p><u><i>Crecimiento con deuda social.</i></u></p> <p><u><i>¿Crecimiento volátil con Empleo vulnerable?</i></u></p> <p><u><i>Empleo temprano en la nueva sociedad.</i></u></p> <p><u><i>El Estado y la función del suelo urbano en Manizales.</i></u></p> <p><u><i>El modelo de ocupación urbano – territorial de Manizales.</i></u></p> <p><u><i>El territorio caldense, un constructo cultural.</i></u></p> <p><u><i>Guerra o Paz, y disfunciones socio-ambientales en Colombia.</i></u></p>	<p><u><i>Las Cuatro Estaciones y el Cambio Climático.</i></u></p> <p><u><i>Las cuentas del agua en Colombia.</i></u></p> <p><u><i>Las Revoluciones Tecnológicas.</i></u></p> <p><u><i>Legalidad y sostenibilidad de la guadua en la ecorregión cafetera.</i></u></p> <p><u><i>Manizales un dialogo con su territorio.</i></u></p> <p><u><i>Manizales: Ciudad de los Ecomparques.</i></u></p> <p><u><i>Manizales, ¿ciudad del agua?</i></u></p> <p><u><i>Manual de geología para ingenieros.</i></u></p> <p><u><i>Más espacio y oportunidades para el ciudadano.</i></u></p> <p><u><i>Materia oscura y Energía oscura.</i></u></p> <p><u><i>Mecánica de los suelos.</i></u></p> <p><u><i>Mecánica planetaria.</i></u></p> <p><u><i>Misiones Galileo y Cassini a los Planetas Jovianos.</i></u></p> <p><u><i>Minería en la ecorregión del Eje Cafetero.</i></u></p> <p><u><i>Navegando el Río Grande de la Magdalena.</i></u></p> <p><u><i>Newton: de Grecia al Renacimiento.</i></u></p> <p><u><i>ONG: desarrollo sostenible, gestión del riesgo y cambio climático.</i></u></p> <p><u><i>Pacífico biogeográfico y geoestratégico colombiano.</i></u></p>	<p><u><i>¿Qué hacer con la vía al Llano?</i></u></p> <p><u><i>Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica.</i></u></p> <p><u><i>Riesgo sísmico: los terremotos.</i></u></p> <p><u><i>Sismos y volcanes en Colombia.</i></u></p> <p><u><i>Sismo, bahareque y laderas.</i></u></p> <p><u><i>Templanza y solidaridad frente al desastre.</i></u></p> <p><u><i>Terremotos en el occidente colombiano.</i></u></p> <p><u><i>Un SOS por los derechos de la Reserva de Río Blanco.</i></u></p> <p><u><i>Una política ambiental pública para Manizales, con gestión del riesgo.</i></u></p> <p><u><i>Vulnerabilidad de las laderas de Manizales.</i></u></p> <p><u><i>La JEP, ¿un blanco contra la Paz.</i></u></p> <p><u><i>La vivienda social y sus determinantes.</i></u></p> <p><u><i>Los frágiles cimientos de la democracia.</i></u></p> <p><u><i>Los quetos urbanos o la ciudad amable.</i></u></p> <p><u><i>Manizales, por la senda verde.</i></u></p>
---	--	--

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA (1867-2017)



**GUÍA ASTRONÓMICA**

Gonzalo Duque-Escobar

MANIZALES, 2020

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3252>

Anexo 1: Colombia tropical: ¿y el agua qué?.	Anexo 12: La Luna
Anexo 2: Calentamiento global en Colombia	Anexo 13: Cultura y Astronomía (C&A)
Anexo 3: Aspectos geofísicos y amenazas naturales en los Andes de Colombia.	Anexo 14: Astronomía en La Edad Media y el Renacimiento.
Anexo 4: El camino a las estrellas.	Anexo 15: Sol, lunas y planetas.
Anexo 5: Isaac Newton	Anexo 16: Manual de geología para ingenieros
Anexo 6: Albert Einstein.	Anexo 17: Riesgo sísmico: los terremotos.
Anexo 7: Stephen Hawking	Anexo 18: CTS, Economía y Territorio.
Anexo 8: Geotecnia para el trópico andino.	Anexo 19: Cultura y Turismo en Caldas.
Anexo 9: Preservación Ambiental e Hídrica del Paisaje Cultural Cafetero.	Anexo.20: El Río Cauca y el desarrollo de la región.
Anexo 10: Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial.	Anexo 21: Videos: Temas de Astronomía y Medio Ambiente.
Anexo 11: Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia.	Anexo.22: UMBRA: la Ecorregión Cafetera en los Mundos de Samoga.
Enlaces U.N.: Textos “verdes”	<b>El Autor: Gonzalo Duque-Escobar</b>

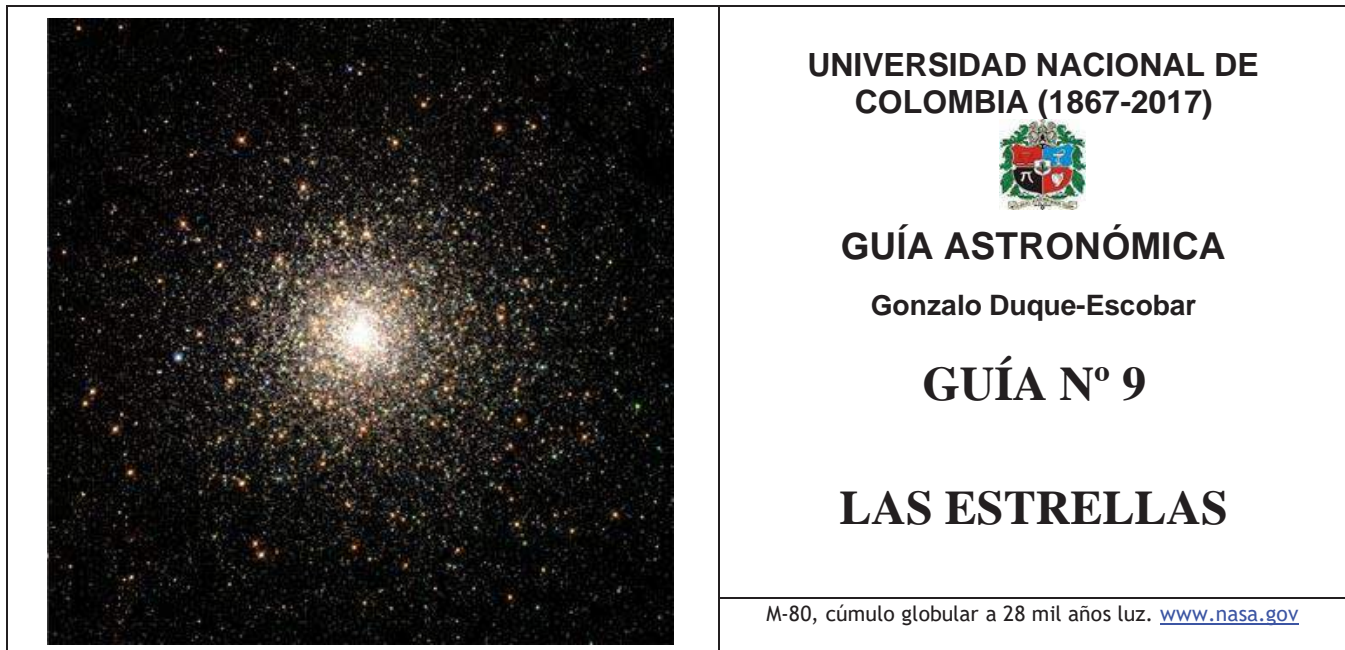
**HOME:**

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3252>

CONTENIDO: PRESENTACIÓN. GUÍA Nº 1. HISTORIA DE LA ASTRONOMÍA. GUÍA Nº 2. COORDENADAS ASTRONÓMICAS. GUÍA Nº 3. ELEMENTOS DE MECÁNICA PLANETARIA. GUÍA Nº 4. TIEMPO Y CALENDARIOS. GUÍA Nº 5. EL SISTEMA SOLAR. GUÍA Nº 6. SOL, LUNAS Y PLANETAS. GUÍA Nº 7. COSMOGRAFÍA. GUÍA Nº 8. ELEMENTOS DE ASTROFÍSICA. GUÍA Nº 9. LAS ESTRELLAS. GUÍA Nº 10. LAS GALAXIAS. GUÍA Nº 11. EL UNIVERSO. GUÍA Nº 12. TEORÍAS COSMOGÓNICAS. GUÍA Nº 13. ASTRONOMÍA EN COLOMBIA. BIBLIOGRAFÍA

**A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.**





## DIAGRAMA HERTZPRUNG-RUSSELL

Los tipos de estrellas pueden caracterizarse por la temperatura (aproximadamente su color) y la cantidad de luz que radian (magnitud absoluta). El diagrama H-R, ver Fig. 9.1, es un plano cartesiano al cual llevamos las estrellas, según ese par de coordenadas.

Si tomáramos las estrellas del cielo, para llevarlas al diagrama H-R, registrando su brillo real, deberíamos conocer la distancia que nos separa de cada una, y adicionalmente, registrar con precisión su color.

La relación entre el color y la temperatura superficial de los astros, está dada por la clase espectral de la estrella (O, B, A, F, G, K, M), al igual que la relación existente entre el brillo aparente y la distancia está dada por la magnitud absoluta. En el **eje vertical** del diagrama H-R la luminosidad absoluta en clases de magnitud o la luminosidad en unidades de luminosidad solar. En el **eje horizontal** se hallan las clases espectrales, o bien, la relación entre la temperatura superficial, o el color.

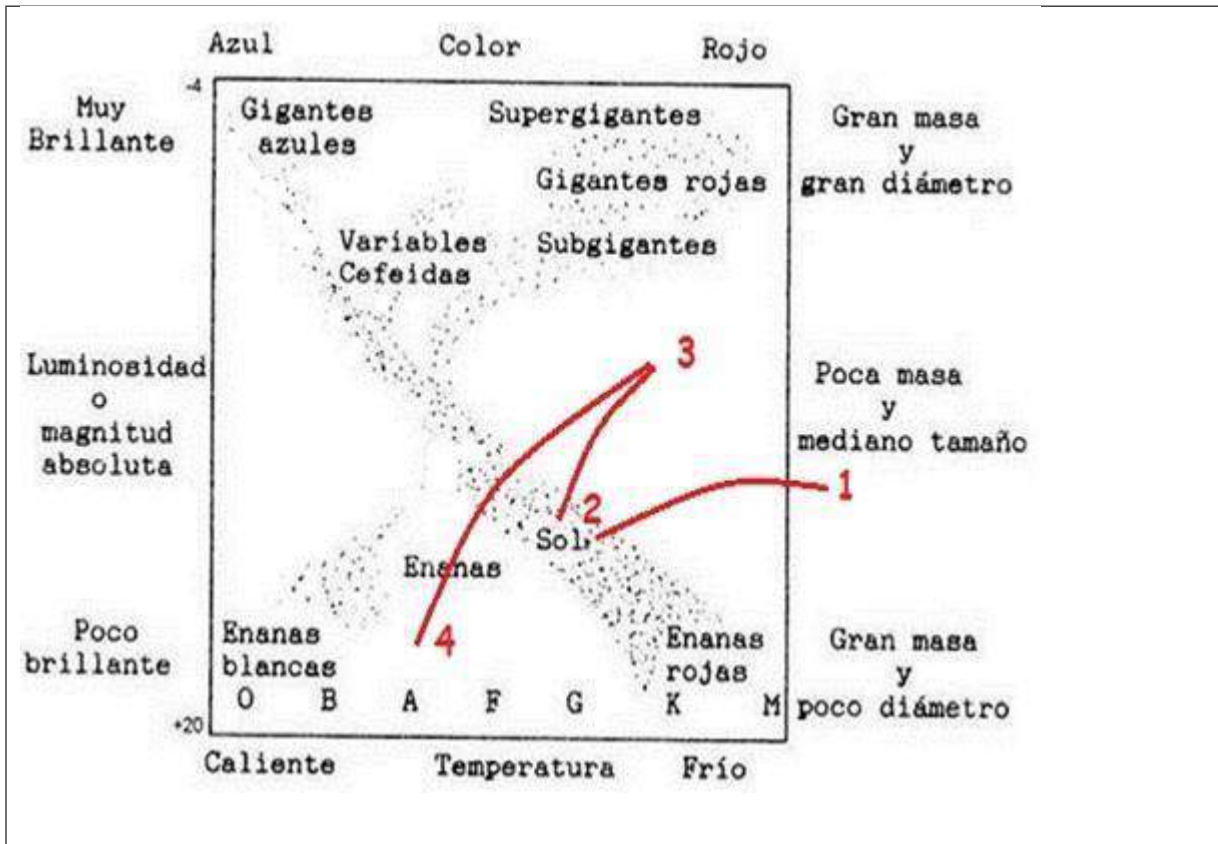


Figura 9.1. El diagrama H-R: herramienta que involucra la magnitud y el color de todas las estrellas, y la masa y tamaño para las estrellas de la secuencia principal solamente.

La mayoría de las estrellas se sitúan sobre la **secuencia principal** que se extiende desde el ángulo superior izquierdo al inferior derecho. Arriba a la izquierda están las estrellas blancas y azules de gran luminosidad y masa, en el centro las estrellas amarillas parecidas al Sol y abajo a la derecha las enanas rojas. En la parte superior derecha se sitúan las **gigantes rojas**. Abajo a la izquierda se hallan algunas **enanas blancas**. Las restantes zonas del diagrama están prácticamente vacías.

La mayoría de las estrellas consumen el principio y la mitad de su vida en el estado que las sitúa a lo largo de la línea de la secuencia principal (en la actualidad el Sol se halla en esta situación). Es la fase estable, de combustión de hidrógeno. La posición a lo largo de la línea viene determinada por su masa: las estrellas de gran masa están en la región de las gigantes azules, y las de masa pequeña, entre las enanas.

Las demás regiones del diagrama sólo están pobladas cuando las estrellas "ordinarias" han quemado buena parte de su hidrógeno y empiezan a evolucionar, separándose de la línea de la secuencia principal, hacia la derecha y hacia arriba (fase de gigantes rojas) y posteriormente hacia la izquierda y hacia abajo (fase de enanas blancas).

7

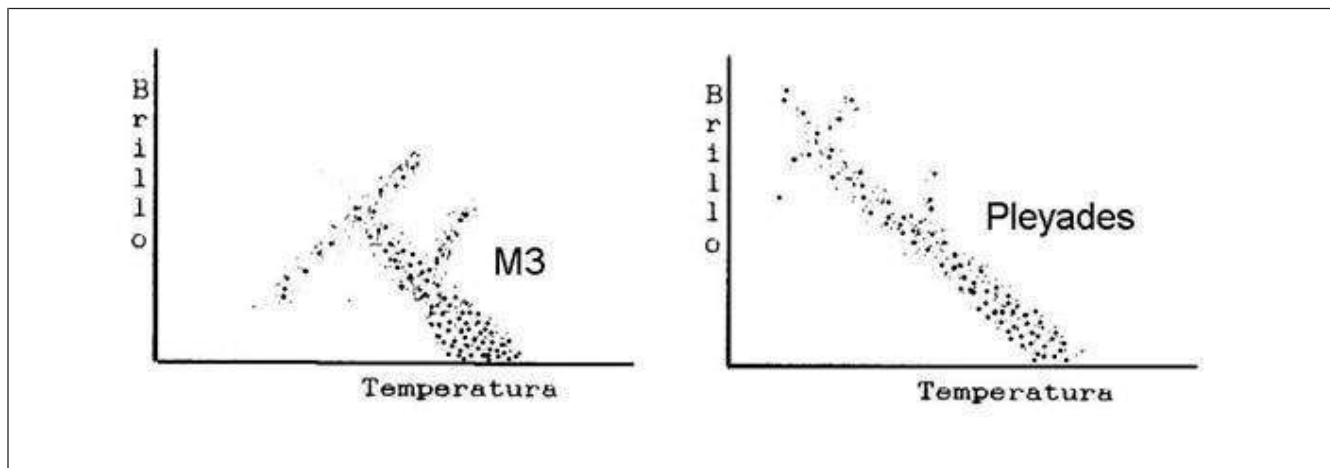


Figura 9.2. El diagrama H-R aplicado a cúmulos estelares: para sistemas estelares coherentes existe diferencia entre un cúmulo globular y un cúmulo galáctico. Las edades de estos se diferencian en la estructura del diagrama. Fuente, Cien mil millones de Soles.

Las estrellas de la Vía Láctea son más heterogéneas que las de cualquier tipo de cúmulo. Las estrellas de un **cúmulo globular** difieren ostensiblemente, por su génesis, de las de un **cúmulo galáctico**; las primeras son estrellas viejas de primera generación y con bajo contenido metálico, mientras las segundas son jóvenes, de segunda generación y alto contenido metálico.

Esa diferencia deberá expresarse en los diagramas H-R de ambos cúmulos. Con el tiempo el diagrama H-R se va despoblado en la secuencia principal, y lo hará de arriba abajo, pues las estrellas de gran masa terminan primero sus reacciones termonucleares, mientras las de masa pequeña han de esperar. Los cúmulos galácticos o abiertos, nutridos de estrellas jóvenes, muestran un diagrama H-R nutrido en la secuencia principal a diferencia de los diagramas de los cúmulos globulares.

9.1.1 Clasificación Espectral de las estrellas

Cuadro 9.1 Clasificación espectral de las estrellas

Clase espectral	Temp. Celcius	Índice de Color	Color	%abundancia	Línea espectral dominante
O	50000 a 25000	- 0.4	azul	1 %	Helio
B	25000 a 11000	- 0.3	azul blanq	3 %	Helio Hidrogeno
A	11000 a 8000	0.0	blanco	2 %	Hidrógeno Calcio
F	8000 a 6000	+ 0.3	amarillo blanq	10 %	Calcio Potasio
G	6000 a 4000	+ 0.7	amarillo	16 %	Metales Calcio
K y M	4000 a 2500	+ 1.2 y +1.7	amarillo y rojizo	37 y 7 %	Metales Oxido de titanio

Fuente. Dic. Rioduero Física del Espacio y otros

Características complementarias			
O: Estrellas bastante raras (0,00003% de las estrellas de la secuencia principal); viven poco y mueren como supernovas, dando lugar a agujeros negros.	B: son extremadamente luminosas, suelen tener una masa de entre 2 y 16 masas solares, tienen períodos de rotación muy rápidos, y no tienen una corona ni una zona de convección.	A: Tienen masa entre 1,4 y 2,1 masas solares, Ejemplos: Altair, Sirio A y Vega. Es en esta clase que suelen aparecer planetas masivos.	F: emiten un color blanco ligeramente amarillento y tienen una masa que va desde 1,0 a 1,4 masas solares. Ejemplo, Proción.
G: Sus masas van de 0,8 a 1,2 veces la del Sol, y se llama enanas amarillas aunque solo las más frías son de ese color. El Sol es un ejemplo.	K: Dada su poca masa que varía entre 0,6 y 0,9 masas solares, duran mucho y son comunes. Ejemplo, Epsilon Eridani,	M: Emiten un color rojizo, y son las estrellas más longevas del universo. Tres cuartas partes del total de estrellas de la Vía Láctea son enanas rojas.	Fuente: La Clasificación estelar, en: <a href="https://www.astrobiteca.com/la-clasificacion-estelar/">https://www.astrobiteca.com/la-clasificacion-estelar/</a>

...

## 9.1. FORMACION DE ESTRELLAS

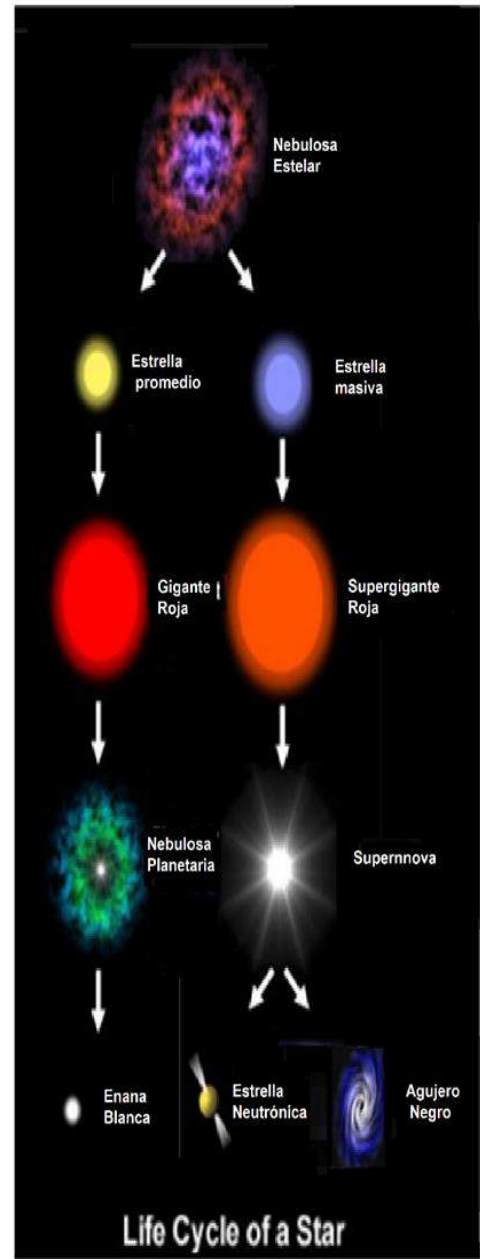
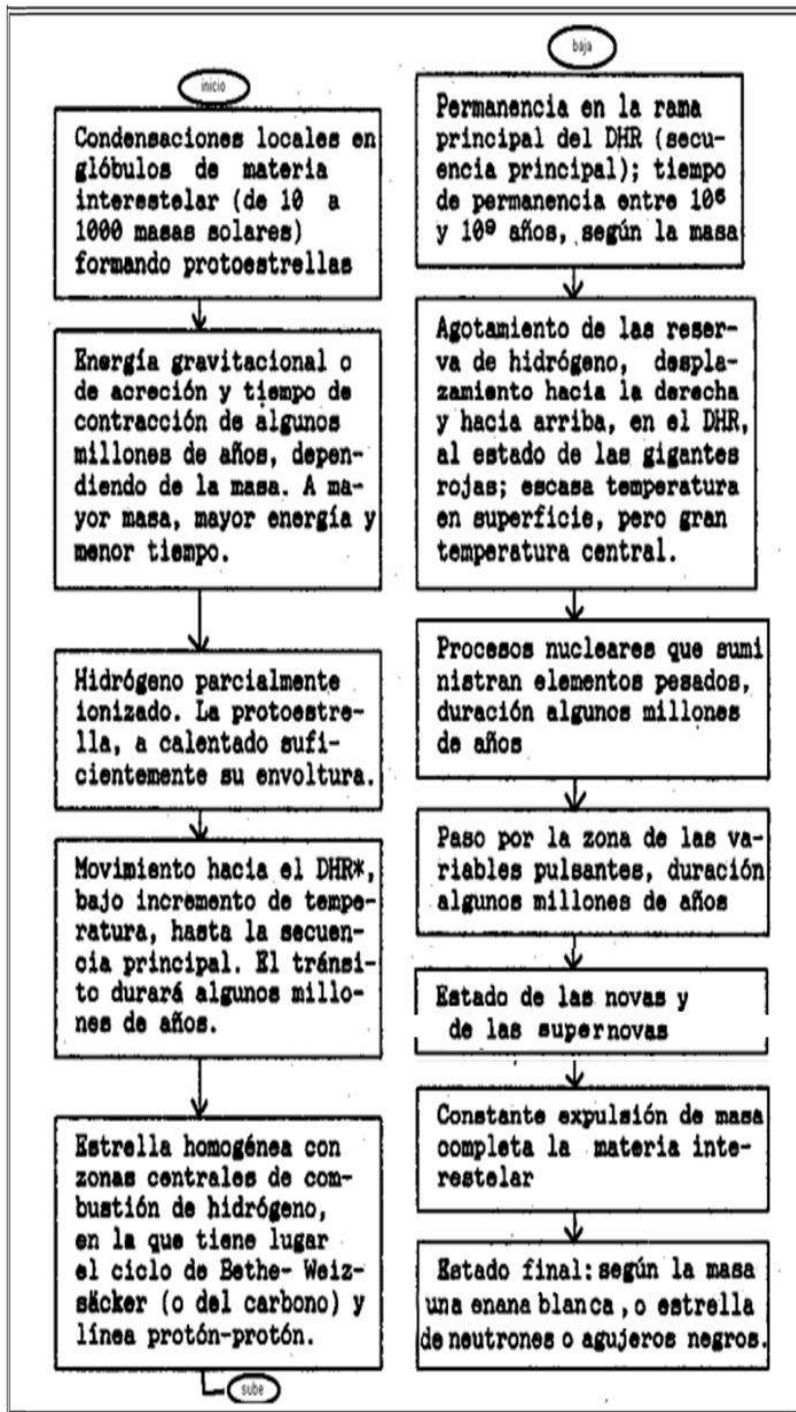
La formación estelar es el proceso por el cual las grandes masas de gas de la galaxia, que conforman las extensas nubes moleculares en el medio interestelar, colapsan para formar estrellas. Mientras dichas nubes están conformadas básicamente de hidrógeno molecular H<sub>2</sub> (90%) y helio (9%), la abundancia de otros elementos más pesados depende fundamentalmente de la historia de dicha nube.

Las nubes de gas y polvo interestelares están sometidas a dos fuerzas: como quiera que la masa se encuentra en rotación y posee alguna temperatura, superior a la del entorno, presenta una fuerza centrífuga de rotación y una fuerza termodinámica por calor, que tratan de expandirla. A estas fuerzas se opone la atracción gravitacional ejercida por la masa, fuerza dirigida hacia el centro de gravedad del sistema.

Si la fuerza de gravedad domina a la de repulsión, se da el colapso gravitacional para que se contraiga la nube, aumentando su densidad, disminuyendo su volumen, aumentando su velocidad de rotación (el momento cinético se conserva igual por el efecto de bailarina) y aumentando la temperatura de la masa (calentamiento por energía de acreción).

El colapso de la nube, gracias a que su densidad se hizo crítica, conduce a una **protoestrella** o sea una nube condensada y caliente que emite radiación infrarroja. Dicho astro, corresponde al periodo de evolución de una estrella desde que es una nube molecular formada de hidrógeno, helio y partículas de polvo que empiezan a contraerse, hasta que alcanza la secuencia principal en el diagrama de Hertzsprung-Russell. El escape de energía permite que la protoestrella colapse más, pero con ello la temperatura aumenta en su interior (energía de acreción) y por lo tanto, pasa a ser brillante (atmósfera enrarecida).

Cuadro 9.2 Síntesis evolutiva de una estrella



CICLO DE LAS ESTRELLAS SEGUN SU MASA

NASA In: <https://www.schoolsobservatory.org/>

Figura 9.3. Ciclo evolutivo de una estrella. Fuentes: Tabla: Diccionario Rioduero. Física del Espacio. Diagrama ilustrado: Nasa.gov, tomado de Schoolsobservatory.or (adaptado)



Con el colapso sucesivo, la temperatura aumentará más en el interior y cuando alcance 10 millones de °C, aparecerá la **estrella**, iniciándose la fusión nuclear, consistente en convertir hidrógeno en helio por dos vías: línea **protón-protón** y ciclo **C-N-O** o del carbono. En ambos procesos la masa inicial supera la masa final en  $\Delta m$ , y  $\Delta m$  se convierte en energía, según la fórmula  $E = \Delta mc^2$ , como se aprecia en la siguiente fig. 9.3:

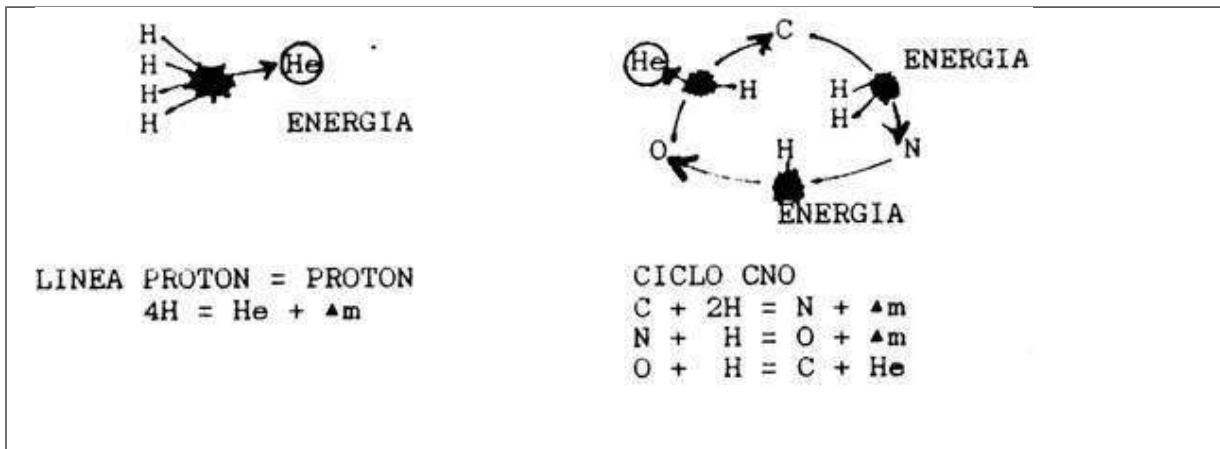


Figura 9.4A. Fusión del hidrógeno por dos vías: se ilustran los procesos por los cuales cuatro hidrógenos se fusionan en un átomo de helio, generando energía.

Mientras la estrella convierte H en He, se dice que está en la **secuencia principal** y la duración de esta fase es inversamente proporcional al cubo de la masa. Las de menos de una masa solar toman la línea protón-protón y duran más, las de más de tres masas solares el ciclo CNO, en las de masa intermedia, el primer proceso en la periferia del núcleo, y el segundo en su interior.

Si la masa es menor que el 7% de la masa solar, no hay fusión nuclear (planeta). Si la masa supera 75(?) masas solares, o colapsa todo o explota todo, porque la presión interior se debería a los FOTONES y no a los electrones o a los núcleos atómicos. Para estas masas, la estrella es inestable.

En la fase estable de la secuencia principal las estrellas permanecen el 90% de su vida. Las de gran masa duran algunos millones de años y las de pequeña masa algunos miles de millones de años. El Sol duraría  $10^{10}$  años. El 10% restante de la vida de la estrella se desarrolla en los estadios de gigante roja y supergigante, hasta llegar al estadio terminal como enana blanca.

## 9.2. LA NUCLEOSÍNTESIS ESTELAR

El curso de la estrella por el diagrama H-R, estará determinado, fundamentalmente por su masa y composición química. Las cenizas del hidrógeno, es decir, el helio, se van concentrando en el núcleo. Cuando este núcleo inerte alcance un 12% de la masa estelar, se hace inestable, se contrae y la energía gravitacional liberada lo calienta. Simultáneamente la envoltura exterior de la estrella se dilata enormemente, y por su distensión libera energía térmica enfriándose y ganando el color rojo. He aquí la gigante roja; cuando el Sol entre a esta fase, crecerá en tamaño ganando las órbitas de Mercurio, Venus, Tierra y Marte probablemente.

Mientras esto ocurre en el interior de la estrella el balance de energía de acreción y de presión termonuclear, se hace favorable para un incremento de temperatura hasta 100 millones de °C. A esta temperatura se forma carbono a partir de helio por el proceso triple alfa, también oxígeno, neón y posiblemente magnesio.

Mas allá, se requiere de altas temperaturas y mayores densidades que el Sol no alcanzará: por ejemplo, la combustión del neón solo ocurre en estrellas de al menos 8 masas solares. La escala de reacciones, hacia los elementos más pesados (Ne, Mg, Si, S, Ca, Ti, Va, Cr, Mn, Fe), cierra en el hierro. Si la gran masa de la estrella sigue siendo el hidrógeno, en la periferia de su núcleo este elemento sigue transformándose en helio.

A medida que el núcleo se sigue contrayendo la temperatura también crece. Ahora el neón interactúa con núcleos de helio para formar magnesio, y así sucesivamente, aparecerán núcleos de isótopos de elementos con

números mágicos múltiples de cuatro hasta el hierro. Agotado el helio utilizable, por el cese de la presión termonuclear, colapsa el núcleo e incrementa su temperatura a niveles más vertiginosos, que permiten la fusión de núcleos aún más pesados.

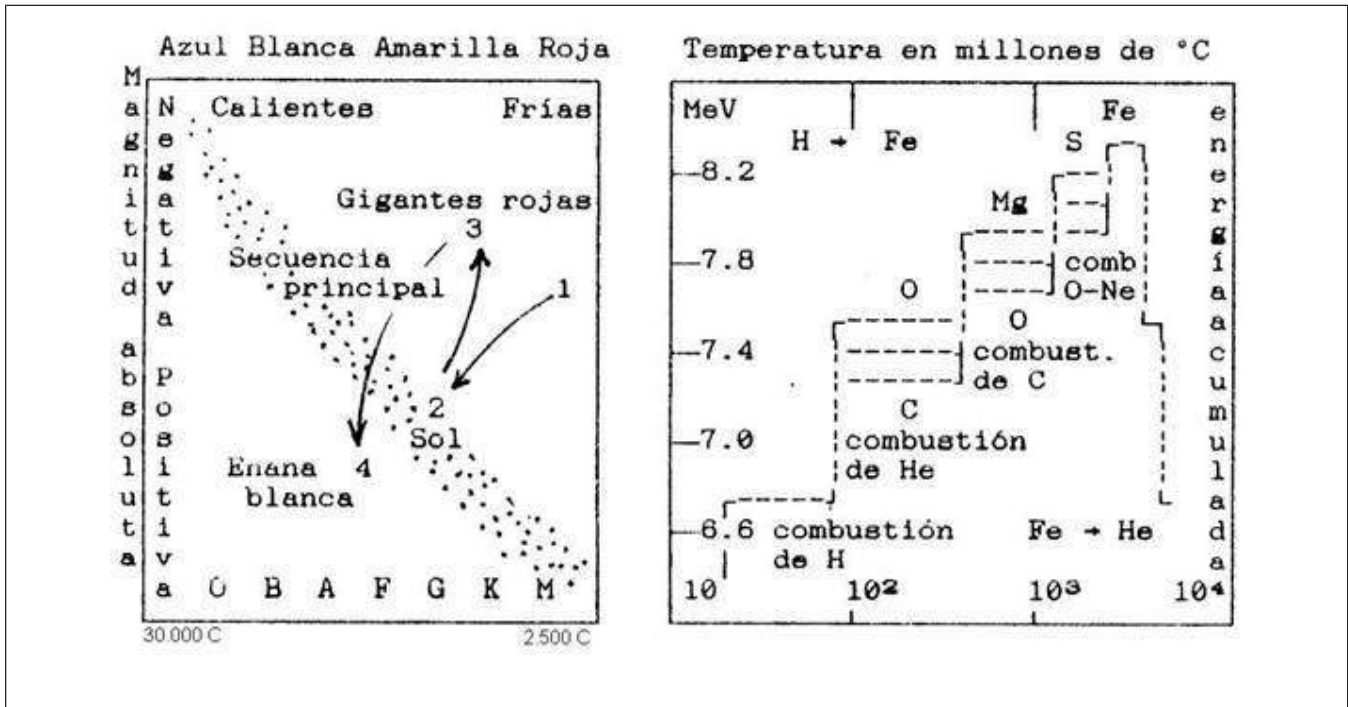


Figura 9.4B. La historia del Sol y la nucleosíntesis estelar: En el diagrama H-R de la izq observamos: 1 = protoestrella, 2 = secuencia principal, 3 = gigante roja, 4 = enana blanca. A la derecha el diagrama de la evolución nuclear estelar con la nucleosíntesis H→Fe y su fisión Fe→He.

En la fase de gigante roja, a mayor masa, mayor temperatura y mayor escala de reacciones hacia los elementos más pesados (Ne, Mg, Si, S, Ca, Ti, Va, Cr, Mn, Fe); más lejos que el hierro no se puede dar fusión, porque este absorbe energía estelar fisionándose en He, con lo cual, el cese súbito de la presión de reacciones hace explotar la estrella en forma de supernova. Así entonces las estrellas de masa importante se autodestruyen para convertirse en Estrellas Neutrónicas o en Agujeros Negros, tras un paroxismo sin poder llegar a la fase de enana blanca.

La gigante roja de masa moderada como nuestro Sol se convierte en **enana blanca**, cuando se "tranquilice" el núcleo estelar, permitiendo que la escasa envoltura gaseosa colapse: cada que se agotaba un combustible nuclear se perdía soporte, colapsaba el astro, aumentaba la temperatura, se reencendía el núcleo, entraba un nuevo combustible y la onda de choque afectaba la envoltura de la estrella haciéndole perder masa, al producirse un fenómeno de Nova para ir nutriendo la nebulosa planetaria. Agotado ya todo combustible, es decir, no siendo posible reencender el horno termonuclear, la enana blanca se apaga y transforma en una enana negra, que al concluir su vida con una masa final menor que 1.4 masas solares, el colapso del cadáver estelar puede ser detenido por la presión de degeneración de los electrones, para que quede **una densa masa estelar negra**.

Contrariamente, una estrella masiva, en lugar de presentar ciclos sucesivos de nova en la fase de gigante roja, explota y se destruye formando elementos más pesados que el hierro, gracias a la onda de choque de una supernova, que concluye como estrella neutrónica o un agujero negro, dependiendo de la masa final. Esto dado que con más de 1.4 masas solares se llega al hierro gaseoso, que se convierte en gas de neutrones haciendo que la presión de degeneración de los neutrones detenga el colapso de la estrella, o en su defecto, que no pueda hacerlo si la masa estelar resulta suficiente para que se rompa el espacio tiempo.

Así entonces, tras esa onda de choque de la supernova se forma la **estrella neutrónica** cuando la masa final esté entre 1,4 y 3 masas solares, o en su defecto, si quedan más de 3 masas solares dado que el colapso de la estrella supera las presiones de degeneración de electrones y también la presión de degeneración de los neutrones, aparecerá un **agujero negro** al producirse una singularidad en el espacio tiempo

### 9.3. ESTRUCTURA DE LAS ESTRELLAS

Tomaremos el Sol como modelo. Se ha visto que el espectro solar informa sobre la temperatura superficial por el color, la temperatura interna por las partículas que escapan del núcleo estelar, también, acerca del tamaño, masa y densidad solares, por la posición de la estrella en el diagrama H-R, y otros aspectos como

presión, composición química, espesor, etc., gracias al soporte de los modelos teóricos. Las coordenadas del Sol en el diagrama H-R son: magnitud +4.7 y clase espectral G2.

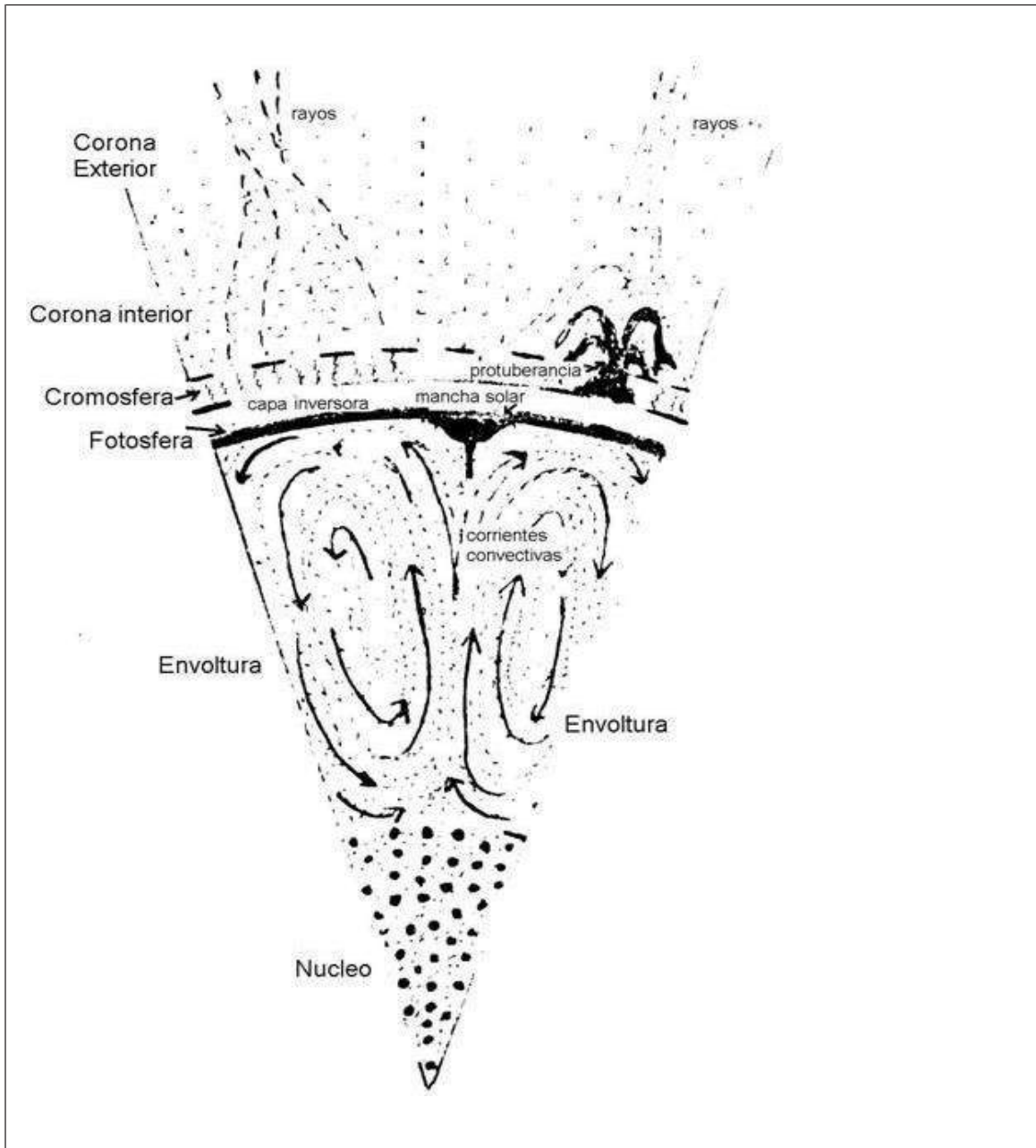


Figura 9.5. Estructura del Sol: corte que muestra las diferentes regiones del Sol, entre su núcleo y la corona exterior. En el núcleo se dan los procesos termonucleares. Fuente: Diccionario Rioduero. Física del Espacio.

Yendo del interior del Sol a la superficie tenemos:

**El núcleo.** Generalmente en estado gaseoso y a gran presión; la temperatura supera los 10 millones de °C, la densidad es superior a los 100g/cc y hay reacciones termonucleares de fusión nuclear.

**La envoltura.** Es la región que envuelve al núcleo, la temperatura exterior es de 5500 °C (bajo la fotosfera), aumentando hacia el interior; la composición química es constante. A través de la envoltura y entre el núcleo y la fotosfera el calor se transfiere por radiación, convección y conducción; los materiales están en continua mezcla, no sólo por la convección, sino por el giro no rígido del astro que es más rápido en el interior que en el exterior y en el ecuador que en los polos.

**La fotosfera.** Es la región visible del Sol cuya temperatura, de 5680 °C, se hace menor en las **manchas solares**; ellas están sobre la zona de emergencia de las corrientes de convección y parecen más frías por el efecto de freno de las corrientes magnéticas.

**La cromosfera.** Región de estructura espicular (en forma de agujas), que rodea la fotosfera; la temperatura aumenta hacia el exterior. Muestra dos aspectos: las **protuberancias**, que son masas gaseosas orientadas por el campo magnético solar a modo de erupciones, y las **fulguraciones** constituidas por plasma solar, es decir, chorros invisibles de gas ionizado, responsables de las auroras polares y las tormentas magnéticas sobre la Tierra.

**Magnetismo solar.** Se presume la formación de un campo magnético dentro de la zona convectiva del Sol. Con la circulación convectiva del plasma conductor, funcionando a modo de una dinamo: se destruye el

[Escriba aquí]

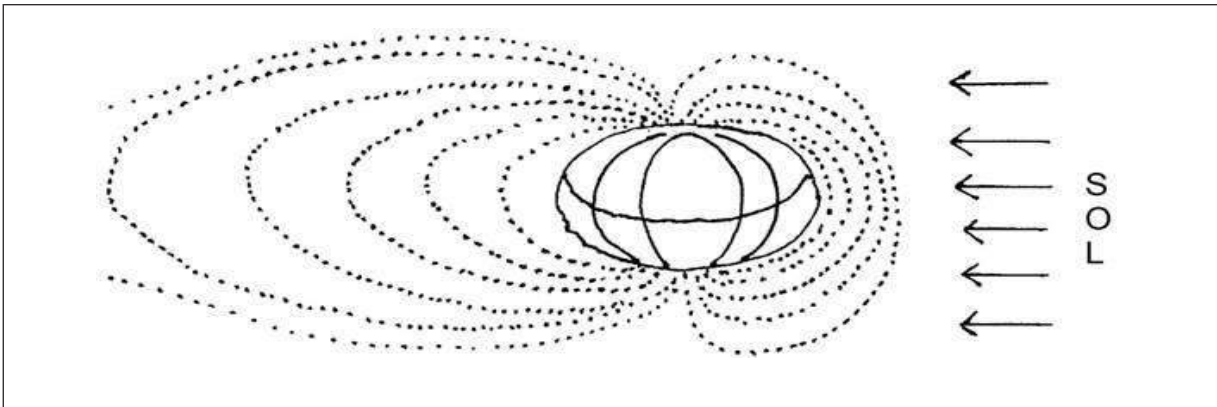


Figura 9.6. Magnetosfera terrestre y viento solar: la magnetosfera terrestre presionada y deformada en la cara diurna por el viento solar, también anuncia las inestabilidades periódicas del Sol.

**La corona.** Región más externa que la cromosfera, donde la temperatura se eleva a un millón de °C. Se hace visible en eclipses y provee el viento solar, que se extiende más allá de la Tierra; la forma de la corona se modifica con el número de manchas solares.

**El viento solar.** Constituido por corrientes de gas más tenues que la corona, con velocidades de cientos de Km/seg; el viento solar se extiende más allá de la Tierra modificando, por presión, la **magnetopausa**.

**Magnetismo solar.** Se presume la formación de un campo magnético dentro de la zona convectiva del Sol. Con la circulación convectiva del plasma conductor, funcionando a modo de una dinamo: se destruy

[Escriba aquí]

## 9.4. DISTANCIA A LOS SISTEMAS ESTELARES

Para conocer la distancia a las estrellas cercanas, aplicamos métodos de triangulación, como la medida de la **paralaje** estelar, donde se utiliza el semidiámetro de la órbita terrestre como base de observación. Este método tiene un alcance hasta 100 parsecs.

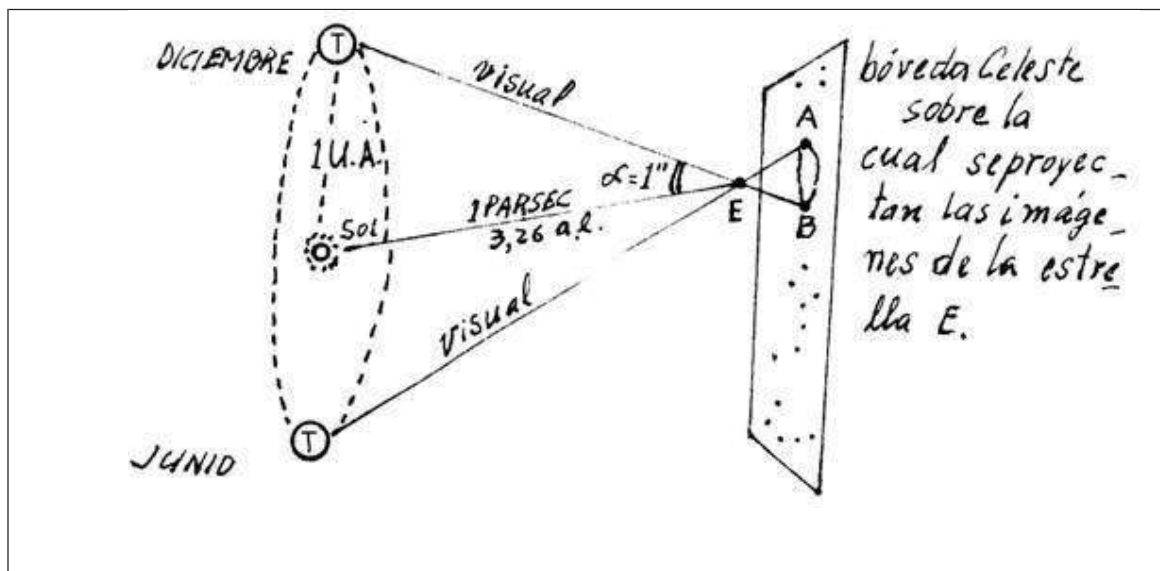


Figura 9.7. La paralaje de una estrella: método útil para triangular la distancia hasta las estrellas cercanas. Un Psc equivale a 3,26 al y a una paralaje de  $1''$  de arco.

Supongamos una estrella cercana. Al observarla desde los extremos de un diámetro de la órbita de la Tierra (observaciones separadas seis meses), la imagen de la estrella aparecerá proyectada sobre la bóveda celeste



en dos puntos distintos (A y B). Como el diámetro de la Tierra se conoce, el triángulo que hacen las visuales, cuya base mide dos U. A., tiene solución. Es este un problema sencillo de resolver, máxime cuando siempre el estrecho ángulo entre A y B es pequeño.

Si se procuran relativamente iguales los ángulos en A y B las dos visuales se hacen relativamente iguales y por lo tanto el gran triángulo TET se asume isósceles. En este caso, el método de triangulación llega a su máximo alcance y se pueden tratar las distancias SE y ST como los catetos de un triángulo rectángulo en S.

Si el arco AB midiera dos segundos, el ángulo alfa, media de AB, valdría un segundo de arco, y la distancia del Sol a la estrella, SE, mediría un parsec, distancia equivalente a 3,26 años luz. El ángulo alfa se denomina la paralaje de la estrella y las posibilidades de aplicar este método cubren los 30 parsec utilizando sistemas convencionales de medida angular, o los 100 parsecs refinando las medidas y aceptando incertidumbre en la distancia estimada. La estrella Polar está en esa frontera.

Otras estrellas **variables pulsantes**, si tienen períodos de oscilación en el brillo, permiten el cálculo de distancias mayores (que es la misma para todo el cúmulo estelar al cual pertenecen). Este método sirvió para determinar la distancia a la galaxia Andrómeda, que inicialmente se estimó en un millón de años luz y que, posteriormente, cuando se advierte la diferencia entre cefeidas (de la población I y de la población II), se encuentra que la distancia a Andrómeda estaba errada.

Para los sistemas estelares más lejanos, nos basamos en el **corrimiento al rojo** que muestran las galaxias, como nubecillas en las cuales ya no se hace posible diferenciar estrellas individuales. No obstante, el comparar galaxias de un mismo tipo o forma, nos permite afirmar con alguna aproximación que las que aparecen en las imágenes con menor tamaño y brillo se encuentran a mayores distancias, que sus similares de gran tamaño y luminosidad.

Existen otros métodos paraláxicos absolutos, diferentes al trigonométrico ya explicado. Entre ellos, el secular que utiliza el desplazamiento del Sol en la galaxia. En este caso se valora la longitud de la fracción de órbita solar recorrida por nuestro sistema solar durante un año y se considera además el movimiento propio de la estrella o del cúmulo estelar observado, para valorar la distancia a dicho sistema. Este método tiene un alcance de unos 5 mil parsecs, con lo que se pueden estimar de forma confiable los grupos de estrella cercanos.

## 9.5. CIENCIA Y CONTAMINACIÓN EN LA LUNA

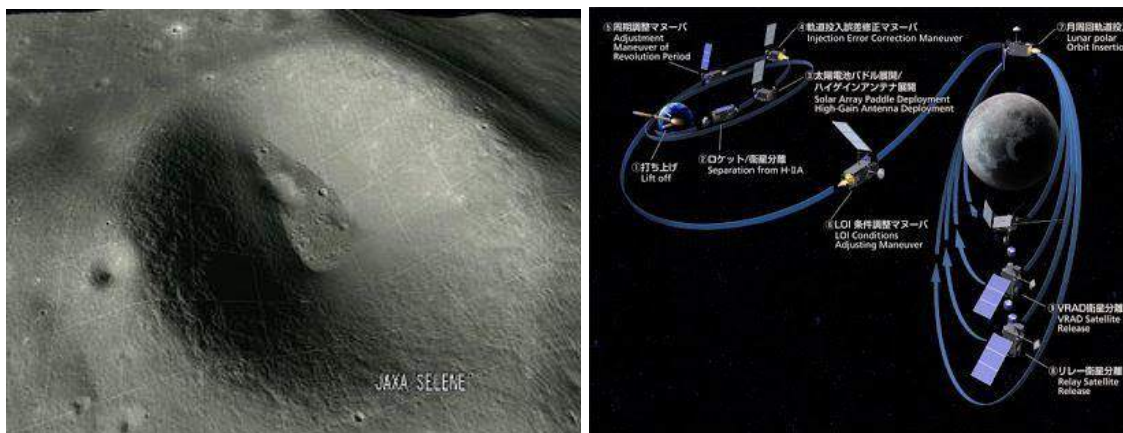


Figura 9.8. Sonda japonesa Kaguya Selene, en <http://astroantropologo.blogspot.com> y <http://newsspazio.blogspot.com.co>

**A propósito del Kaguya:** Con prometedores resultados se van desarrollando la misiones de la Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial del Japón JAXA, que anteceden al emblemático proyecto nipón que intentaría una misión tripulada a la Luna: se trata ahora de la sonda lunar Kaguya lanzada para estrellarse cerca del polo sur de la Luna, buscando con el impacto generar una nube de polvo para determinar los efectos a lo largo del tiempo de la radiación y el impacto de micrometeoritos, en el suelo

lunar. Efectivamente, estamos conociendo las impresionantes imágenes en alta definición de nuestro satélite natural enviadas por la sonda, el impacto se dio y la nube de polvo aparentemente pudo ser observada desde la Tierra.

El nombre de esta sonda, recuerda a la hermosa princesa Kaguya-Hime, (Princesa Luz Brillante) encontrada en una mata de bambú aquí en la Tierra por un venerable anciano japonés; y que ya adulta, habiendo logrado el sueño de regresar al satélite natural de la Tierra, su hábitat natural, en venganza por las decisiones del emperador del país oriental que quiso retenerla, transforma al Fuji en un volcán para que bañe de fuego esas tierras en la Isla de Honshu.

La JAXA creada en octubre de 2003 por la unión de la Agencia Nacional de Desarrollo Espacial NASDA, el Laboratorio Nacional Aeroespacial de Japón NAL y el Instituto de Ciencia Aeronáutica y Espacial ISAS, tras un fallido lanzamiento del cohete H-IIA en noviembre de 2003, 15 meses después logró poner en órbita un satélite con su cohete H-2A lanzado desde el Centro Espacial de Tanegashima, entre otros logros significativos y dificultades.

Pero a la par, con los indiscutibles beneficios de la misión amerita hacer una reflexión adicional sobre la noticia: y es que, cuando en aras de la ciencia y el progreso también hemos llenado de basura el espacio exterior circundante del planeta, ahora que avanzamos sobre la Luna debemos preguntarnos hasta dónde podemos llegar, quién puede conocer, regular y aprobar los procedimientos y qué riesgos insospechados se corren con la contaminación aparentemente inocua. Sabemos que la chatarra espacial es un tema de preocupación que comenzará pronto a tomar importancia, puesto que las colisiones a velocidades orbitales amenazan satélites artificiales en funcionamiento y misiones de astronautas, y también que el manejo del problema es complicado y costoso. ¿Pero en el caso de la Luna qué?

Ed. Circular RAC 521. June 25, 2009

## 9.6. SOBRE ASTEROIDES, METEOROS Y CHATARRA ESPACIAL



Figura 9.9: Chatarra espacial en órbita terrestre baja, en: <http://eco.microsiervos.com>

Dos eventos en cierto modo similares han puesto a conversar a los astrónomos profesionales y aficionados del país: la bola de fuego que se reportó en Santander y los dos asteroides que según anticipó la Nasa, pasaron esta semana tan cerca o lejos de la Tierra como 2/10 partes de lo que dista la Luna, sin mayor riesgo que el de ser observados con instrumentos y técnicas adecuadas como las que felizmente utilizó para lograrlo el Observatorio Astronómico de Pasto.

Para empezar, los asteroides y sus parientes los meteoroides, son fragmentos rocosos que frecuentan nuestro espacio interplanetario. Sólo que los primeros al igual que los cometas, son tan grandes como un gran bloque rocoso o una extensa montaña, mientras los segundos que le suceden en tamaño, resultan similares a las arenas, grava y bloques de roca. Unos y otros tienen un origen que puede asociarse a la

génesis del sistema planetario o a procesos catastróficos como las colisiones cósmicas cuyas evidencias expresan los cráteres lunares. Las estrellas fugases se explican por polvo y arena submeteórica que entra a la atmósfera, conforme el planeta se va desplazando.

Los asteroides, cuyas colisiones preocupan más ahora que antes dados los acontecimientos ya observados en planetas del sistema solar, también explican las otras interesantes geofomas de la Tierra que al datarse soportan teorías de catástrofes ecológicas como la desaparición de los dinosaurios.

Los segundos denominados aerolitos o meteorito cuando un meteoroides alcanza la superficie de la Tierra al no desintegrarse por completo en la atmósfera, suelen ser de interés para los astrónomos quienes arman sus expediciones casi siempre infructuosas para encontrarlos, los estudian para comprender procesos de nuestro entorno cósmico y los clasifican, y para coleccionistas que los adquieren pagando bien la rareza del hallazgo.

El trazo luminoso e intenso que generó un ruido explosivo, visto y escuchado en horas diurnas por diferentes testigos desde varios lugares vecinos a la región del Chicamocha, y cuya descripción coincide con la de un bólido del cual no ha aparecido la huella que intentan encontrar los compañeros de la UIS, fácilmente pudo ser un meteorito o quizá un fragmento de basura espacial, pues uno y otro son eventos probables, aunque su enorme diferencia resulte de singular importancia dado que si bien el primero es un fenómeno natural donde la probabilidad de ocurrencia de los meteoritos resulta inversamente proporcional a la magnitud de la amenaza, el segundo no es más que el fruto de la irresponsabilidad humana, y esa amenaza sí tiene capital importancia.

## 9.8 CIENCIA, PROTOCIENCIA Y SEUDOCIENCIA



Figura 9.10: “Lección de Anatomía” en 1617: obra de Michiel Jansz van Mierevelt, en:

<http://arboldemedicina.blogspot.com>

Creo conveniente hacer alguna alusión a un hecho aparentemente poco trascendental, pero de implicaciones no deseables en un país confesional y de corte absolutamente premoderno, en el que valen más las impresiones que los argumentos y las formas que las ideas: es que no deben prosperar los aires inquisidores y poner en duda la ya larga y fructífera labor de varios lustros a cargo de los compañeros de ASAFI, por haber dado paso a una conferencia sin propósitos mercantiles y en espacios reconocidos como propios de la astronomía, para abordar una temática de “otros saberes” afines a la protociencia, sin dogmatismo ni fanatismo y con la manifiesta intención de abrir un conocimiento al examen riguroso de la experimentación y discusión científica. Hacerlo así en nuestros escenarios, no significa abrir caminos a los seudocientíficos que han inficionado nuestra cultura, ya como mercaderes, o al servicio de quienes trafican con la miseria humana al amparo de su ignorancia.

Para empezar, al igual que ocurre hoy con la astronomía cuyos orígenes pasan a confundirse con la astrología, en el transcurso de los comienzos de la época moderna, la actual química no es otra que la propia evolución de la alquimia, y por lo tanto es válido hacer de una y otra materia de estudio y confrontación para quienes mantengamos el interés en la historia de la ciencia. Igualmente, vale la pena recordar que en 1629 Kepler inventa la ciencia ficción con un cuento del viaje a la Luna, describiendo la velocidad de escape, la ingravidez a mitad de camino y las leyes de la física de entonces, no propiamente para fines poco nobles y profanos como el de los seudocientíficos.

En la historia de la ciencia, la astrología como la alquimia fueron antiguas prácticas protocientíficas y disciplinas filosóficas, que combinaron elementos de la ciencia, la técnica, el arte y la filosofía, pero evolucionaron al admitir para su desarrollo la falsabilidad y mantener el carácter propositivo de sus teorías.

El término protociencia se define como un conocimiento que alude a una nueva área de esfuerzo científico en proceso de consolidación, tal cual lo fueron en su momento éstas, y lo son ahora la teoría de cuerdas y las branas de la supuesta undécima dimensión a la que se aludirá en el aparte 12.9, o también la hipotética energía oscura que aceleraría la expansión ya observada del Universo, y la materia oscura que se explica en el aparte 12-8.

Para no tener que ir lejos, si alguien no ha ganado el Nóbel de física ha sido Stephen Hawking, simple y llanamente por ocuparse de asuntos no comprobados, corriendo con esa suerte al ocuparse de la cosmología en el estado de seudociencia, con la misma suerte de Albert Einstein quien tampoco recibió su Nóbel por la Teoría de la Relatividad, dado que esta no tenía soporte experimental como sí su trabajo sobre el efecto fotoeléctrico galardonado en 1921. En definitiva, como reza una sabia enseñanza: no le temáis a la luz del conocimiento porque ella te libera de las cadenas de la ignorancia.

## 9.9 SINERGIA Y PERTINENCIA EN LAS CIENCIAS BÁSICAS



Figura 9.11: Mapa del Nuevo Reino de Granada, en la wikimedia.org

A pesar de algunos desarrollos obtenidos en los campos de las Ciencias Básicas más afines a la Astronomía, como son las Ciencias de la Tierra y la Física, hay mucho por hacer en Colombia ya que tras algunas décadas de labores académicas, a niveles de Maestría y Doctorado, aún no podemos mostrar logros significativos de relevancia internacional, lo que con mayor razón nos obliga a quienes hacemos por la Astronomía a buscar fortalezas y potencialidades, mirando en esa perspectiva más amplia para no quedar reducidos únicamente al fascinante mundo de las estrellas y de paso para posibilitar la atención a nuestros desafíos con el planeta Tierra y el país.

Lo anterior dado que valoramos el aporte que puede hacerse con la ciencia y la tecnología para mejorar la calidad de vida y sabemos de las consecuencias del desarrollo tecnocientífico; y también porque según Colciencias actualmente contamos con 5 grupos académicos en el área de la Astronomía, así: en



Arqueoastronomía y Etnoastronomía, en Astronomía y Cosmología, en Astronomía Galáctica, y en Astrofísica (3), y con 5 grupos más en el área de la Ciencia y Tecnología Aeroespacial.

En consecuencia, si observamos los grupos clasificados en Categoría A, tanto de Física como de las Ciencias de La Tierra según la convocatoria de Colciencias al año 2010, los de la Astronomía y de la Ciencia y Tecnología Aeroespacial podrían lograr sinergias, articulándose primero para luego buscar alianzas con algunos de aquellos campos, entre los que aparecen grupos de investigadores en Física Atómica y Molecular, Altas Energías (2), Materia Condensada, Campos y Partículas, Física Teórica del Estado Sólido, Física Teórica de Altas Energías, Geofísica, Magnetismo y Materiales Avanzados, Física del Plasma, Fenomenología de Interacciones Fundamentales, Materiales Semiconductores y Energía Solar, Óptica y Fotónica, Física Computacional en Materia Condensada, y Sistemas Correlacionados. La gran mayoría de estos, a cargo de las universidades públicas dado que los temas en sí no consiguen el interés del Mercado en Colombia.

Y para trazar el camino de las tareas comunes, señalemos temas y motivos para el diálogo de saberes en nuestro contexto. Si examinamos las grandes problemáticas del país, habría que empezar por las deficiencias en materia de investigación y monitoreo climatológico, el retraso en cartografía temática y de detalle, y las limitaciones en telecomunicaciones, tres temas que invitan a considerar la importancia de avanzar en la investigación de los asuntos de la Astronomía Atmosférica y en el Desarrollo Satelital. Si miramos en el terreno de las potencialidades, Colombia que cuenta con una posición geoestratégica al ubicarse en el centro de las Américas y tener acceso a los dos principales océanos de la economía del planeta, posee dos espacios por nosotros inexplorados: su Órbita Geoestacionaria y los Fondos Oceánicos.

Y si buscamos un nicho acorde con nuestras capacidades humanas a pesar de las limitaciones materiales, podemos aprovechar el terreno de la Cosmología en este país donde la inteligencia florece, ya que su estudio no requiere del arsenal instrumental que exige, por ejemplo, la física de partículas.

La conclusión simple de este examen llano del acontecer científico nacional en los campos de la ciencia en que nos ocupamos, invita a pensar en el importante reto que tienen los diez notables colombianos: líderes científicos, empresariales y regionales que participan del recién creado Consejo Asesor de Ciencia, Tecnología e Innovación, y con ellos nosotros desde la academia, para trazar en conjunto políticas que permitan romper las barreras que han impedido que la Ciencia le aporte al desarrollo económico, social y

ambiental de Colombia, entre ellas las que dificultan el desarrollo de las denominadas universidades del conocimiento (y la de innovación si se quiere), que son las de la investigación científica, instituciones en sumo grado más exigentes en recursos humanos, instrumentales y presupuestales (y en especial las segundas), que las instituciones de formación profesional. Todo esto, porque la ineficiencia del trabajo aislado e insustancial no puede continuar siendo un lujo a costillas de las prioridades para el desarrollo de la Nación, donde urgen acciones pertinentes, estratégicas y fundamentales en materia de investigación científica y tecnológica que no pueden esperar ni resolverse sin el concurso del Estado.

Ed. Circular RAC 599. 14 Mar 2011

### 9.10. COLOMBIA POR UN SISTEMA SATELITAL

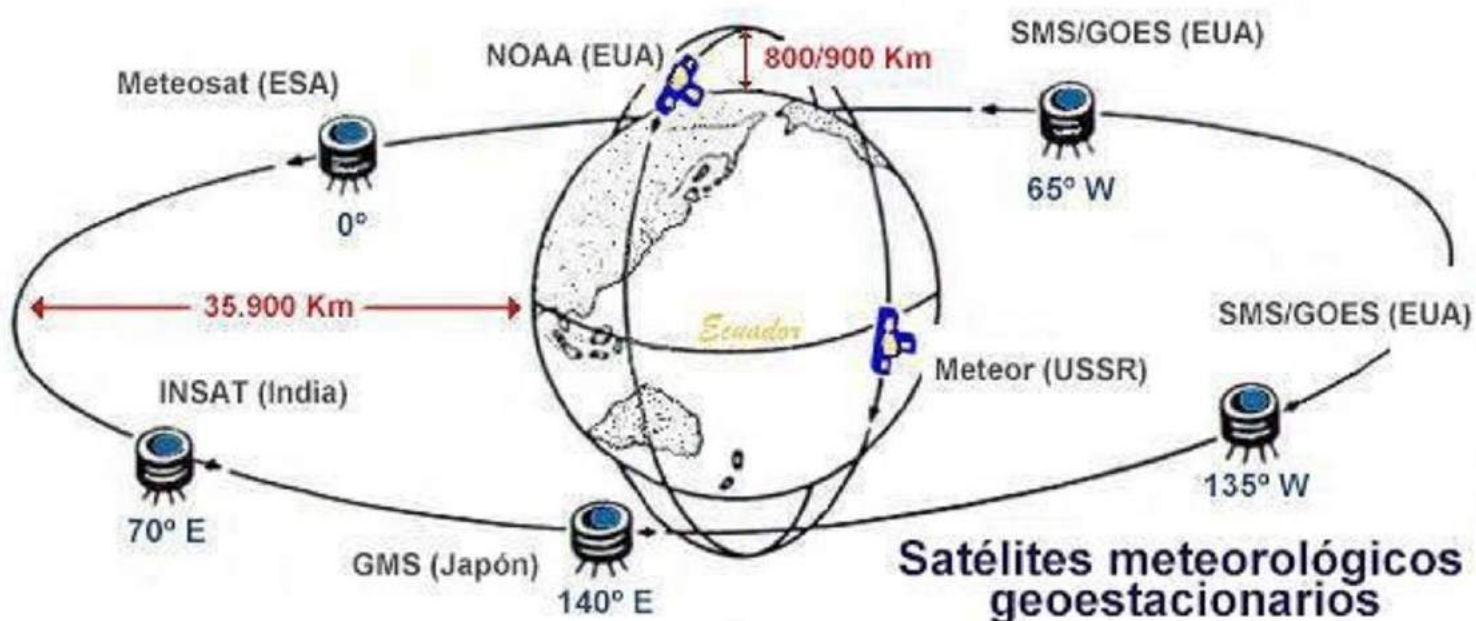


Figura: 9.12. Órbita geostacionaria y Órbita Polar <https://100cia.site/>

Tal cual lo ha venido proponiendo la Comisión Colombiana del Espacio (CCE), creada desde el año 2006, Colombia debe cerrar la brecha digital producto del aislamiento geográfico por extensión y relieve, resolver su retraso en cartografía temática y de detalle, y crear condiciones favorables para promover el sector, incursionado a la era satelital con dos propósitos: expandir las comunicaciones cubriendo su territorio y beneficiando a comunidades excluidas, y para la observación de forma sistemática del territorio continental y marítimo. Aunque el ideal es acometer este proyecto mediante un esfuerzo común a nivel regional,

mirando también nuestros mares independientemente de cuál sea el caso, esta acción debe contemplar un modelo de transferencia tecnológica acorde a los requerimientos de cada país o de Colombia, según el caso.

Paradójicamente, a pesar de contar con órbita geoestacionaria, otros países que no cuentan con este recurso estratégico como Argentina, Bolivia y Venezuela, y que comparten las mismas necesidades de Colombia, de forma exitosa y con grandes beneficios, han instalado sus satélites de comunicaciones, aunque de forma separada.

¿Y la órbita geoestacionaria?



Figura 9.13- Cuadrícula Landsat para Colombia, en <http://arcg.is/0vWm5K>

La Órbita Geoestacionaria aparece en el Art 101 de la Carta de 1991, pese a que el Derecho Internacional no reconoce soberanías sobre este estratégico anillo de 35786 km ubicado sobre el ecuador. No obstante, la Unión Internacional de Telecomunicaciones, dependencia de las Naciones Unidas, nos asignó tres posiciones orbitales entre los 70° y 75° de longitud oeste. Siendo así, ¿debería Colombia entrar a la era satelital?, ¿se requiere o no fortalecer nuestras telecomunicaciones desde nuestra órbita geoestacionaria para llevar telefonía, internet y televisión a la Colombia profunda?, ¿tendría sentido monitorear nuestro clima, las regiones boscosas y los mares del país?

A pesar de las evidentes desventajas de la órbita GEO con respecto a las órbitas LEO y MEO menos

alejadas, existen marcadas ventajas para sistemas de comunicación terrestres. El satélite geostacionario sirve para televisión, radio XM o sistema de navegación GPS en tierra, y para imágenes con fines meteorológicos y climáticos. Como antecedentes, en Colombia, están el Libertad 1 y el Facsat 1: el primero, un pico-satélite artificial con una vida útil de 6 años adquirido y adaptado por la Universidad Sergio Arboleda, instrumento lanzado en 2007 que se diseñó para emitir datos de temperatura, aunque no hubo publicaciones con un análisis de las señales obtenidas; y el segundo, un nano-satélite adquirido para la Fuerza Aérea Colombiana en 2018, capaz de tomar imágenes con una resolución de 30 metros por píxel, y del cual esperamos surjan publicaciones fruto de su aplicación. El Farsat-1, de 30 cm, 4 kg y 5 años de vida útil, es el primer satélite colombiano con capacidad de tomar imágenes de la Tierra con 30 metros de resolución, y enviarlas al centro de mando. Imagen: <http://latamsatelital.com/>

## La conectividad

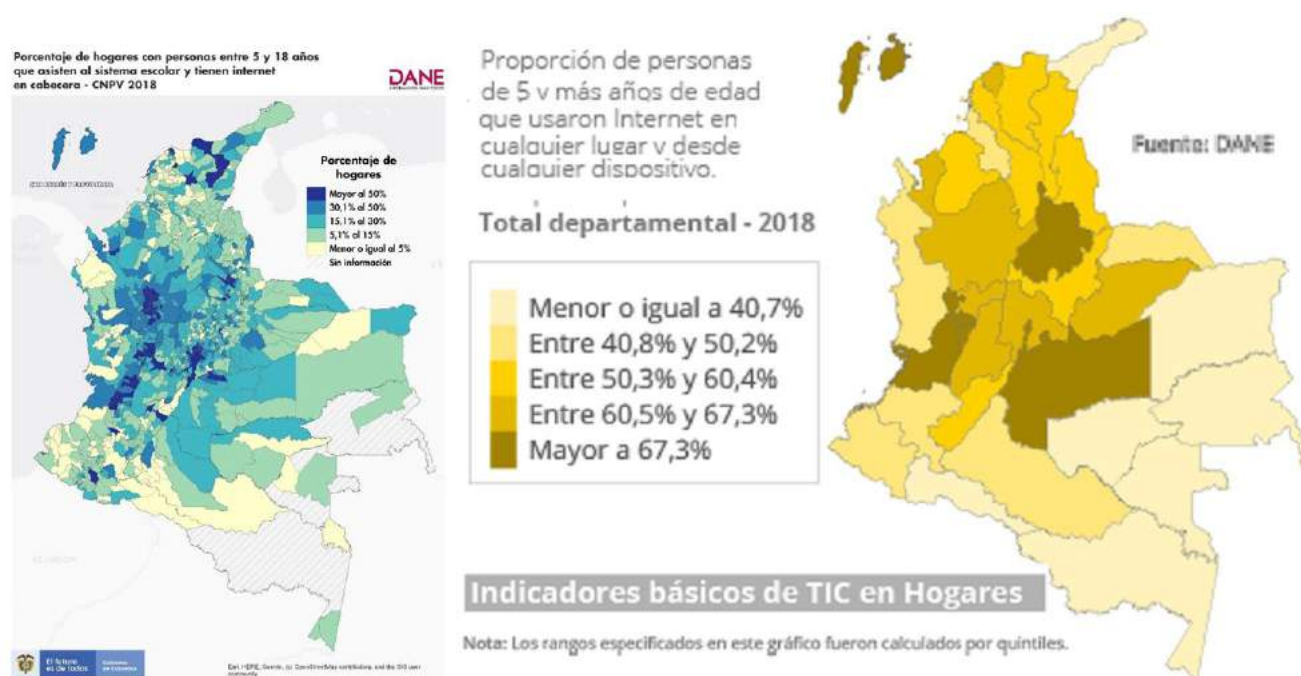


Figura 9.14. Posiciones orbitales en la órbita geostacionaria. Izq.: Al 2018 en Colombia, el 53,8 % de los hogares de las cabeceras, con personas entre los 5 y 18 años que asisten al sistema escolar, tienen internet. <https://www.dane.gov.co/> Der.: El año 2018, al preguntar sobre el uso del internet: del total Nacional: 44,8% No sabe usarlo; 24,2% No lo considera necesario; 18,1% Es muy costoso, y 12,9% No lo usa por otras razones. <https://www.dane.gov.co>

Aunque la tecnología satelital es costosa, el satélite es el futuro de la conectividad a nivel mundial, y también la única opción para conseguir la cobertura de un territorio geográficamente difícil, como el nuestro. En Colombia, aunque por decreto se aumentó en 2019 el mínimo de banda ancha que se comercializa estableciéndose en 25 Megabits por segundo, por la falta de conectividad no se ha mejorado la velocidad, ya que en el ranking de conectividad al 2019 aparecemos en el puesto 18 de la región y en el 114 a nivel mundial; y en velocidad de internet en el puesto 88 al 2020, año en el que también cuatro de cada

cinco colombianos entró en la era digital, aunque todavía la mitad de la población limita el uso de la red a aspectos básicos.

Al 2018 en Colombia, el 53,8 % de los hogares de las cabeceras, con personas entre los 5 y 18 años que asisten al sistema escolar, tienen internet. <https://www.dane.gov.co/>

Por un sistema satelital para la modernización de las TIC

No obstante, si la penetración del internet viene en aumento desde 2016, pues pasó de 58% al 66% en la actualidad, para lograr la democratización y alcance de esta herramienta, cerrando la brecha informática que agobia al sector rural, al expedirse la Ley 1978 de 2019 sobre modernización del sector TIC, cuyo propósito es la maximización social y la conectividad en todo el territorio nacional, se hace imprescindible el satélite para aprovechar dicha herramienta normativa, beneficiando bibliotecas, escuelas y centros de salud en áreas marginadas, y para que los habitantes de zonas rurales, de bajos recursos y vulnerables, tengan cobertura móvil, celular e Internet.

El año 2018, al preguntar sobre el uso del internet: del total Nacional: 44,8% No sabe usarlo; 24,2% No lo considera necesario; 18,1% Es muy costoso, y 12,9% No lo usa por otras razones. <https://www.dane.gov.co/>

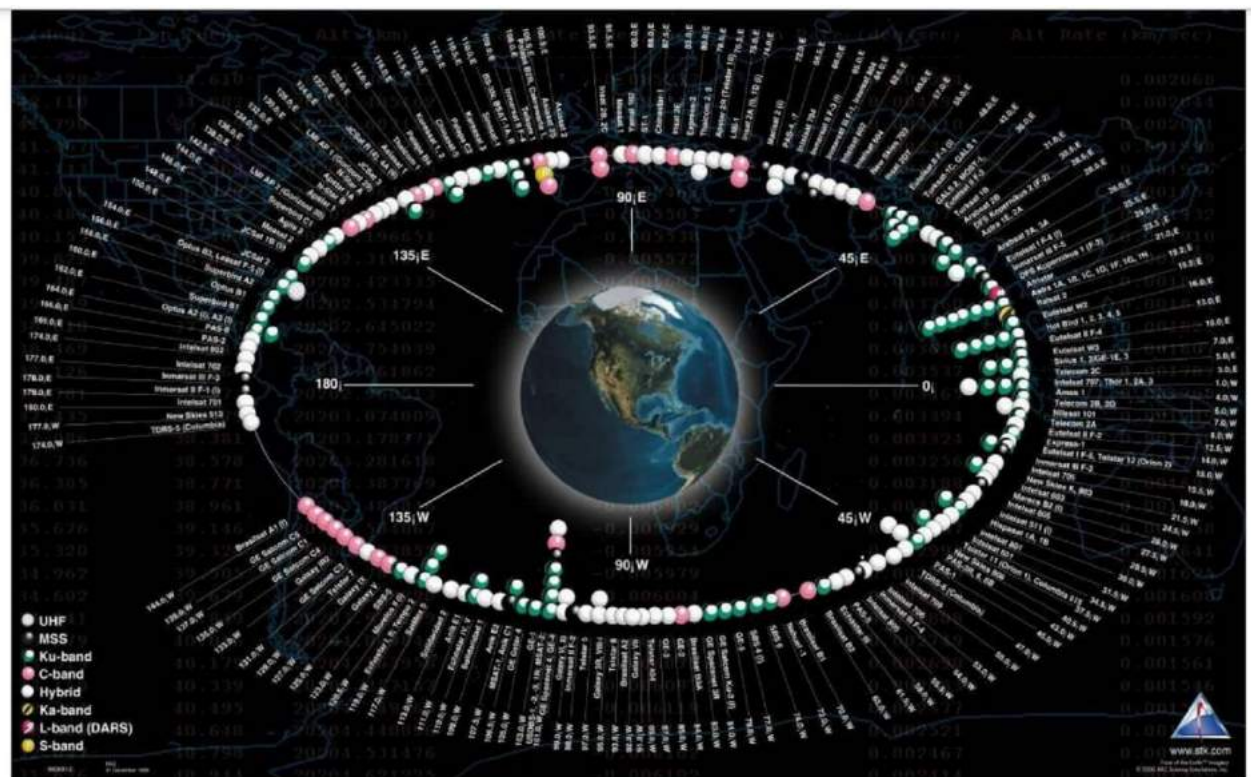


Figura 9.15- Posiciones orbitales en la órbita geostacionaria, en <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/>

El país requiere dos satélites complementarios. Si en 2010 la licitación para la compra de un satélite geostacionario se declaró desierta, razón por la cual posteriormente se optó por una red nacional de fibra

óptica, complementada con el pago de servicios inalámbricos satelitales y de microondas, por fortuna el MinTIC consciente de la limitación de esta solución, incapaz de resolver el aislamiento de regiones marginadas y reducir la brecha digital, ha vuelto a considerar la compra de un satélite geoestacionario de comunicaciones con fines educativos, hospitalarios y de apoyo a instituciones públicas, dándole prioridad sobre la adquisición de otro satélite de trayectoria polar, que es otra herramienta aplicable al estudio y control de nuestros recursos naturales, de la dinámica de los procesos y fenómenos ambientales, y a la seguridad y reconocimiento del territorio.

Mientras los satélites geoestacionarios, que solo pueden apear a 35796 km de altitud, por ser geosincrónicos son fundamentales para los temas de conectividad satelital, los Satélites de órbita polar, cuya altitud que puede variar de 200 a 1000 km permiten la visión detallada del territorio, al mantener su plano orbital mientras la Tierra gira la van barriendo sistemáticamente con cada paso. <https://asmc.asean.org/>

Habría que señalar que no se trata de un juguete costoso. Esto para dar repuesta a voces contrarias, calificando improcedente una inversión de 350 millones de dólares comprando un satélite cuya vida útil es de 12 a 17 años, al que se sumarían los gastos de mantenimiento, entre otros argumentos precarios esgrimidos por quienes pareciera no haber visto “la pandemia digital”, desnudando la inequidad digital y el carácter imprescindible de las redes para lograr un desarrollo equitativo, lo cual justifica, además de este esfuerzo valorado en el inmenso beneficio que recibiría la Colombia marginada y discriminada, el de un segundo satélite de imágenes como complemento posterior, para investigaciones adicionales necesarias y de gran importancia, las cuales no se desarrollan hoy con unas pocas e insuficientes imágenes, que a un costo de 2 millones de dólares anuales adquiere el país, pese a continuar urgido de una observación sistemática de su extenso y desconocido territorio.

En conclusión: Colombia debe cerrar la brecha digital producto del aislamiento geográfico por extensión y relieve, resolver su retraso en cartografía temática y de detalle en mares y regiones continentales, y crear condiciones favorables para promover una conectividad incluyente el sector, incursionado a la era satelital con un sistema satelital, que contemple un satélite geoestacionario y otro de órbita polar propósitos complementarios: expandir las comunicaciones y cubrir su territorio continental y marítimo.

Ref.: Observatorio Astronómico de Manizales OAM. Septiembre 7 de 2020.

## 9.11. GLOSARIO DE ESTRELLAS

**Estrella A:** Estrella de tipo espectral A, con temperatura aproximada de 10000°C.

**Estrella B:** Estrella de tipo espectral B; estrellas de luminosidad azulada, con temperaturas alrededor de los 25000°C; las líneas de helio son características en el espectro.

**Estrella de Barnard:** Llamada así en honor del astrónomo E. E. Barnard; la estrella fija (débil) con el movimiento propio mayor que se conoce hasta ahora, de aproximadamente 10.34" al año; a una distancia de 5.9 años luz del Sol.

**Estrella C:** Estrella de carbono.

**Estrella Central:** La estrella situada en el centro de una nebulosa planetaria, que excita a lucir a las masas gaseosas de la nebulosa con su radiación.

**Estrella F:** Estrella de tipo espectral F; son estrellas con temperaturas superficiales entre 7000 y 9000°C; son características las líneas H y K, del calcio ionizado simplemente, así como líneas metálicas.

**Estrella fugaz:** Meteoro.

**Estrella G:** Estrella de tipo espectral G; temperatura superficial de 4500 a 6000°C; las líneas H y K, de calcio ionizado simplemente, son las más fuertes; las líneas de hierro se hacen cada vez más fuertes; el Sol es una estrella G2.

**Estrella Granate:** La estrella  $\mu$  Cephei, irregularmente variable, con una tonalidad rojiza fuerte.

**Estrella guía:** Aquella estrella que se mantiene siempre en la cruz reticular del telescopio guía, con el correspondiente seguimiento al hacer fotografías celestes de larga duración.

**Estrella de helio:** 1) una estrella con alto contenido de helio. 2) Las estrellas de los antiguos tipos espectrales W, O y B, en las que las líneas espectrales del helio aparecen en forma especialmente clara.

**Estrella de hierro:** Una estrella en cuyo espectro aparecen, llamando especialmente la atención, las líneas espectrales del hierro.

**Estrella K:** Estrella de tipo espectral K; con un suave resplandor rojizo; temperatura por debajo de 4000°C; son típicas las líneas espectrales de metales; sobre todo, de óxido de titanio y calcio.

**Estrella M:** Estrella de tipo espectral M; las características principales son las bandas de óxido de titanio; la banda G está separada en líneas individuales; la temperatura está por debajo de los 4000°C.

**Estrella N:** Una estrella de luminosidad roja de la última clase espectral N; son dominantes las bandas espectrales de cianógeno y monóxido de carbono.

**Estrella del Norte:** La estrella Polar.

**Estrella O:** Estrella de la primera clase espectral; estrellas de luminosidad azulada, con temperaturas por encima de los 25000°C; son características las líneas de absorción del helio ionizado.

**Estrella Polar:** Polaris, estrella del Norte, Kynosura; la estrella de la cola de la Osa Menor; alejada en 1974 55' del polo norte celeste y en el año 2100 solo 28'. A causa de la precesión, también pueden ser E. P. otras estrellas, por ejemplo en 12500 años, Vega, en la constelación de Lira.

**Estrella Principal:** La componente de mayor masa o la más luminosa en un sistema de estrellas dobles o múltiples.

**Estrella R:** Estrella de la última clase espectral R; caracterizada por la aparición de bandas de cianógeno y de monóxido de C.

**Estrella S:** Estrella "roja" de la clase espectral S; son típicas las bandas de óxido de circonio.

**Estrella de Tycho:** Una supernova descubierta por Tycho Brahe en 1572, en la Constelación de Casiopea.

**Estrellas de alta velocidad:** Estrellas con una velocidad relativa, respecto del Sol, de un orden de magnitud de 100 a 200 km/seg; se trata de estrellas de la población halo, que circundan el centro galáctico en largas órbitas elípticas.

**Estrellas de campo:** Todas las estrellas de un sistema estelar que no pertenecen al cúmulo estelar.

**Estrellas de carbono:** Estrellas rojas (baja temperatura) de los tipos espectrales R y N, con fuertes bandas de absorción de carbono y cianuro.

**Estrellas circumpolares:** Estrellas que nunca desaparecen debajo del horizonte; su distancia al polo celeste es menor siempre que la latitud geográfica del lugar de observación. El Sol de medianoche es un caso especial de una estrella circumpolar.

**Estrellas de cúmulo:** Todas las estrellas de un sistema estelar que pertenecen a cúmulos estelares, en contraposición con las estrellas de campo.

**Estrellas enanas:** Estrellas de escasa luminosidad, situadas en el diagrama de Hertzsprung-Russell por debajo de la secuencia principal. Enanas Blancas.

**Estrellas con envoltura:** Estrellas con una envoltura gaseosa dilatada; casi siempre, alrededor de estrellas de rotación rápida.

**Estrellas fijas:** Cuerpos celestes con luz propia que **aparentemente** no varían su posición; lo opuesto: los planetas.

**Estrellas fundamentales:** Una selección de estrellas (reunidas en el **Catálogo fundamental**) cuya posición fue observada con la máxima precisión desde diferentes observatorios; representan el sistema de coordenadas astronómico



(sistema fundamental).

**Estrellas fundamentales de tiempo:** Estrellas especialmente seleccionadas y exactamente medidas en la proximidad del ecuador celeste para la determinación astronómica exacta del tiempo.

**Estrellas gigantes:** Estrellas fijas con un diámetro y una gran luminosidad. **Diagrama de Hertzsprung- Russell.**

**Estrellas con líneas metálicas:** Estrellas con muchas o enormemente fuertes líneas espectrales de metales.

**Estrellas magnéticas:** Estrellas que muestran un efecto Zeeman de las líneas espectrales tan grande, que se ha de suponer la existencia de campos magnéticos muy fuertes (de hasta 30.000 Gauss), que también pueden ser variables (**variables magnéticas**); parece que hay una relación entre la alta velocidad de rotación y un campo magnético estelar.

**Estrellas móviles:** Los planetas, en contraposición con las estrellas fijas. .

**Estrellas  $\mu$  Cephei:** Estrellas  $\mu$  Cephei: variables semiregulares cuya curva de luz casi siempre es de forma ondulatoria; la causa del cambio de luz de las estrellas supergigantes es desconocida.

**Estrellas de neutrones:** Estado final del desarrollo de una estrella si la estrella original tenía de tres a nueve veces la masa solar, si ha consumido la reserva de hidrógeno, si ha recorrido el estado de las gigantes rojas, si después de inestabilidades ha tenido lugar una erupción supernova (masa del estado final inferior a dos veces la masa solar: **límite de Oppenheimer-Volkoff**). Como residuos de una supernova, las e. de n. están constituidas por gas de neutrones puro (densidad comparable a la densidad en el núcleo atómico, aproximado de  $10^9$  a  $10^{15}$  g/cm<sup>3</sup>); una estrella de neutrones de masa solar tiene un diámetro aproximado de 15 km. Pulsares, enanas blancas, agujero negro.

**Estrellas peculiares:** Estrellas con peculiaridades en el espectro; caracterizadas con una p detrás de la clasificación del tipo espectral (por ejemplo: A2 p).

**Estrellas Runaway:** estrellas de las primeras clases espectrales (O y B), con velocidades espaciales muy altas; probablemente, provienen de asociaciones estelares; quizás, también de sistemas de estrellas dobles fraccionados, una de cuyas componentes ha sufrido una erupción supernova.

**Estrellas de la secuencia-principal:** Estrellas en la secuencia principal del diagrama de Hertzsprung-Russell; un representante típico es nuestro Sol.

**Estrellas de tipo Algol:** Una clase de variables eclipsantes; prototipo Algol.

**Estrellas tipo Mira:** Estrellas variables de largo período (períodos entre 83 y 1374 días); pertenecen a los últimos tipos espectrales (escasa temperatura superficial); se trata de supergigantes con diámetros algunos cientos de veces mayores que el del Sol.

**Estrellas de Trümpler:** Estrellas hipotéticas con masas algunos cientos de masas solares; estas estrellas tienen que ser inestables.

**Estrellas W:** Las estrellas de Wolf-Rayet.

**Estrellas WC:** Grupo de las estrellas Wolf-Rayet.

**Estrellas Wolf-Rayet:** Estrellas fijas (clase espectral W) con temperaturas superficiales extremas (80.000°K) y una envoltura gaseosa que manifiesta expansión. En el espectro son características las líneas del carbono ionizado por primera-tercera vez (estrellas WC) o del nitrógeno ionizado por segunda-cuarta vez (estrellas WN).

**CRÉDITO:** Diccionario Rioduero-Física del Espacio, 1978.

### Lecturas complementarias N°9:

<p><u><i>Arco Energético para el Eje Cafetero.</i></u></p> <p><u><i>Área metropolitana de Manizales.</i></u></p> <p><u><i>Crecimiento con deuda social.</i></u></p> <p><u><i>Crisis social por disfunciones económicas en Colombia.</i></u></p> <p><u><i>Colombia mira a la Cuenca del Pacífico.</i></u></p> <p><u><i>Colombia, ¿y la inequidad qué?</i></u></p> <p><u><i>Daño a reserva forestal que protege a Manizales.</i></u></p> <p><u><i>De la economía marrón a la naranja.</i></u></p> <p><u><i>Desafíos económicos post-pandemia.</i></u></p> <p><u><i>Desarrollo Sostenido en la Prospectiva de la Problemática Ambiental y la Supervivencia.</i></u></p> <p><u><i>Economía colombiana: crisis y retos.</i></u></p> <p><u><i>Economía verde y economía del conocimiento.</i></u></p> <p><u><i>Ecorregión y bioturismo.</i></u></p> <p><u><i>El territorio caldense, un constructo cultural.</i></u></p>	<p><u><i>CTS, Economía y Territorio.</i></u></p> <p><u><i>El Universo.</i></u></p> <p><u><i>Paisaje y Región en la Tierra del Café.</i></u></p> <p><u><i>PCC- Dinámicas institucionales: el territorio.</i></u></p> <p><u><i>Peajes sí, pero no así y menos ahí.</i></u></p> <p><u><i>Plataformas Logísticas y Transporte Intermodal en Colombia.</i></u></p> <p><u><i>Plusvalía urbana y POT Manizales.</i></u></p> <p><u><i>¿Por qué el Aeropuerto del Café?</i></u></p> <p><u><i>Preservación ambiental e hídrica del paisaje cultural cafetero.</i></u></p> <p><u><i>Problema "ALEPH".</i></u></p> <p><u><i>Procesos de Control y Vigilancia Forestal en la Región Pacífica y Andina de Colombia.</i></u></p> <p><u><i>Protagonistas de la astronomía.</i></u></p> <p><u><i>¿Qué hacer con la vía al Llano?</i></u></p> <p><u><i>¿Réquiem por la Reserva Forestal de Río Blanco?</i></u></p>	<p><u><i>Fundamentos de Economía y Transportes.</i></u></p> <p><u><i>Fundamentos de economía para el constructor.</i></u></p> <p><u><i>Manizales, y "El derecho a la ciudad".</i></u></p> <p><u><i>Más espacio público para una ciudad sostenible e incluyente.</i></u></p> <p><u><i>Participación de la sociedad civil en el ordenamiento territorial.</i></u></p> <p><u><i>Pensamiento crítico para la Paz.</i></u></p> <p><u><i>Por la educación y la cultura en el pacto de gobernanza.</i></u></p> <p><u><i>Reserva de Río Blanco: reflexiones para prevenir un ecocidio.</i></u></p> <p><u><i>Rieles para el empleo cafetero.</i></u></p> <p><u><i>Un país con grandes retos ambientales.</i></u></p> <p><u><i>Un Plan de Acción para encausar el megaproyecto San José.</i></u></p> <p><u><i>Visión retrospectiva y prospectiva del desarrollo regional.</i></u></p>
--	--	---

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA (1867-2017)



GUÍA ASTRONÓMICA

Gonzalo Duque-Escobar

MANIZALES, 2020

https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3252

Anexo 1: Colombia tropical: ¿y el agua qué?.	Anexo 12: La Luna
Anexo 2: Calentamiento global en Colombia	Anexo 13: Cultura y Astronomía (C&A)
Anexo 3: Aspectos geofísicos y amenazas naturales en los Andes de Colombia.	Anexo 14: Astronomía en La Edad Media y el Renacimiento.
Anexo 4: El camino a las estrellas.	Anexo 15: Sol, lunas y planetas.
Anexo 5: Isaac Newton	Anexo 16: Manual de geología para ingenieros
Anexo 6: Albert Einstein.	Anexo 17: Riesgo sísmico: los terremotos.
Anexo 7: Stephen Hawking	Anexo 18: CTS, Economía y Territorio.
Anexo 8: Geotecnia para el trópico andino.	Anexo 19: Cultura y Turismo en Caldas.
Anexo 9: Preservación Ambiental e Hídrica del Paisaje Cultural Cafetero.	Anexo.20: El Río Cauca y el desarrollo de la región.
Anexo 10: Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial.	Anexo 21: Videos: Temas de Astronomía y Medio Ambiente.
Anexo 11: Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia.	Anexo.22: UMBRA: la Ecorregión Cafetera en los Mundos de Samoga.
Enlaces U.N.: Textos “verdes”	<b>El Autor: Gonzalo Duque-Escobar</b>

HOME:

https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3252

CONTENIDO: PRESENTACIÓN. GUÍA Nº 1. HISTORIA DE LA ASTRONOMÍA. GUÍA Nº 2. COORDENADAS ASTRONÓMICAS. GUÍA Nº 3. ELEMENTOS DE MECÁNICA PLANETARIA. GUÍA Nº 4. TIEMPO Y CALENDARIOS. GUÍA Nº 5. EL SISTEMA SOLAR. GUÍA Nº 6. SOL, LUNAS Y PLANETAS. GUÍA Nº 7. COSMOGRAFÍA. GUÍA Nº 8. ELEMENTOS DE ASTROFÍSICA. GUÍA Nº 9. LAS ESTRELLAS. GUÍA Nº 10. LAS GALAXIAS. GUÍA Nº 11. EL UNIVERSO. GUÍA Nº 12. TEORÍAS COSMOGÓNICAS. GUÍA Nº 13. ASTRONOMÍA EN COLOMBIA. BIBLIOGRAFÍA

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.





## 10.1. DESCRIPCION DE UNA GALAXIA

Una galaxia es una **Isla de estrellas** inmersa en nubes de gas y polvo; en su interior, las estrellas se organizan en cúmulos que han nacido de una misma nube de gas y polvo. Dichas estrellas, aunque congénitas, pueden estar unidas por la gravedad, o bien, pueden estar alejándose lentamente unas de otras.

En el primer caso, se trata de **cúmulos globulares o cerrados**, donde el grupo tiene forma esférica, y está constituido por con cientos o miles de estrellas viejas o de la población II, en el segundo caso, por regla general, se tienen **cúmulos galácticos o abiertos**, denominados así por su forma irregular dada la dispersión de las estrellas, cuyo número de miembros es de algunos cientos de estrellas jóvenes o de la población I. Distinguimos en la galaxia su núcleo, su halo y su plano medio con brazos espiralizados.



Figura 10.1. Apariencia lejana de dos clases de cúmulos: Imágenes del cúmulo estelar abierto o galáctico de las Pléyades (izq) y del cúmulo estelar cerrado o globular Tucanae (der). Fuente, <https://es.wikipedia.org>

### 10.1.1. Poblaciones estelares

Son dos diferentes grupos de estrellas. En la **población I** entran las estrellas de formación reciente como el Sol, que se encuentran en los brazos espirales de las galaxias; estas estrellas tienen elementos más pesados o metálicos. En la población II entran estrellas viejas, a veces contemporáneas con la formación de la galaxia, que se encuentran o en su núcleo galáctico o en los cúmulos globulares del halo.

En la **población II** las estrellas casi no contienen elementos pesados, son de primera generación, con escaso contenido metálico pero ricas en hidrógeno.

Las poblaciones pueden dividirse así:

1. **Población I extrema** (estrellas O y B, estrellas  $\delta$  Cephei, cúmulos abiertos).
2. **Población I más vieja** (estrellas A, gigantes normales, estrellas con fuertes rayas metálicas).

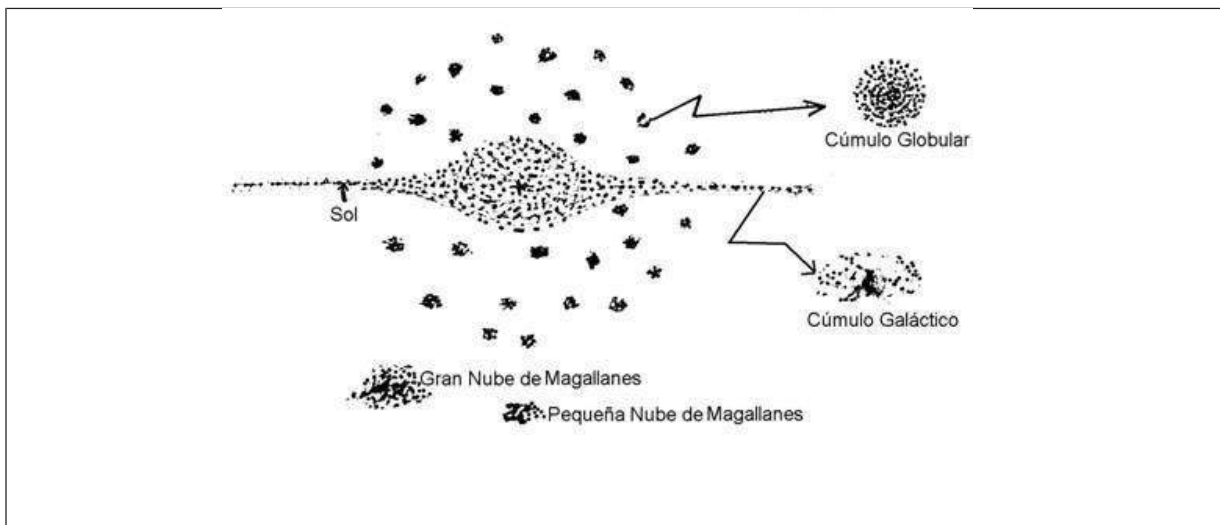


Figura 10.2. Apariencia lejana de dos clases de cúmulos: con la posición relativa del Sol y las dos Nubes de Magallanes. En detalle los cúmulos estelares abiertos y cerrados típicos de esta galaxia. Véase Fig. 10.4.

3. **Población II intermedia** (estrellas Mira de período corto, estrellas con velocidades superiores a los 30 km/s, perpendiculares al plano galáctico).
4. **Población II del halo** (estrellas en cúmulos globulares, estrellas Rr Lyrae, subenanas).

Al observar nuestra galaxia, podemos identificar algunas estructuras, como el halo, el núcleo, el plano medio galáctico y el eje de rotación del sistema y el disco galáctico.

**El halo** es el volumen redondeado de la galaxia formado por cúmulos cerrados con órbitas poco circulares y muy inclinadas respecto al **plano medio** de la galaxia. La región es pobre en gas y polvo y las estrellas orbitan a gran velocidad.

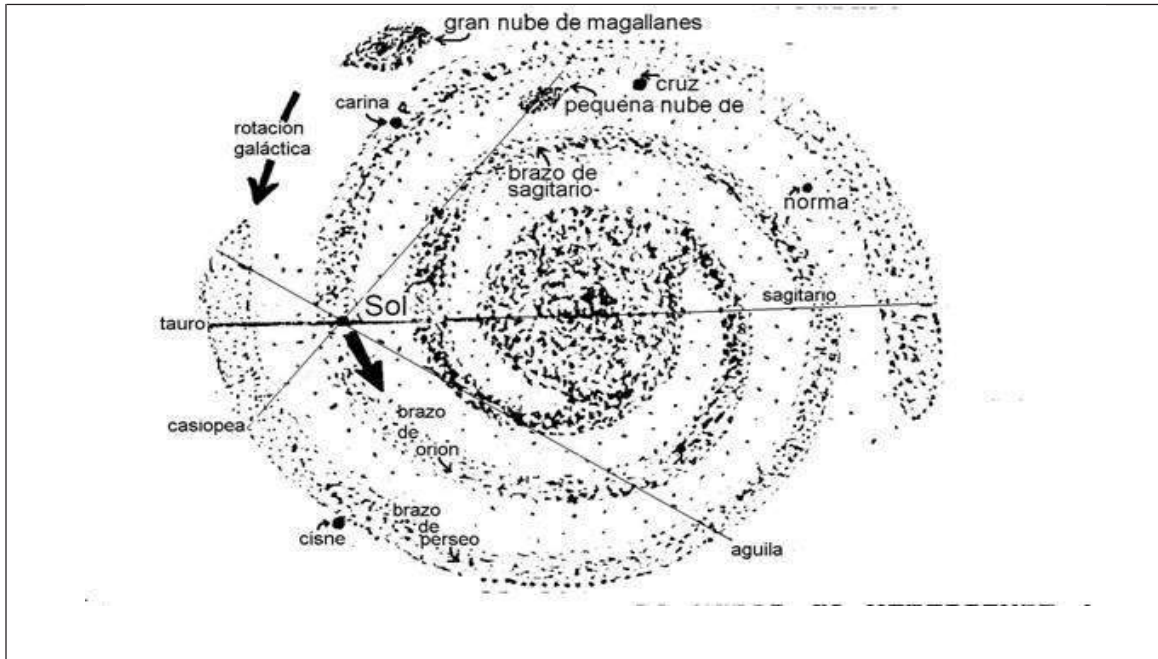


Figura 10.3. Planta de La Vía Láctea: se muestran la rotación galáctica, las Nubes de Magallanes, el Sol sobre el brazo de Orión y este entre los brazos de Sagitario y Perseo. Véase Fig. 10.3.

**El disco** es el contorno de los brazos espirales localizados en el plano medio, donde las estrellas son jóvenes y se encuentran sumergidas en medio de gas y polvo. Las estrellas aquí, en cúmulos galácticos generalmente, están orbitando con trayectorias muy circulares y siempre perpendiculares al eje de rotación de la galaxia. Por lo tanto, si las estrellas del halo no comparten la rotación galáctica, las del disco sí la comparten. La rotación galáctica es diferencial. Los objetos del centro son rápidos y los del disco lentos. El Sol podría pasar de un **brazo** a otro, mientras transita la galaxia con órbita casi circular.

**10.1.2. Clasificación Galáctica.** Según J.P. Hubble, la clasificación de las galaxias es la del diagrama de la Fig. 10.5. Con E se codifican las elípticas, con SO las lenticulares, con S las espirales, con SB las barradas y con Ir las irregulares.

Se ha propuesto un **esquema evolutivo de las galaxias** sugiriendo que ellas empiezan sus vidas como estructuras esféricas que paulatinamente se van achatando, al contraerse gravitacional mente, haciéndose elípticas y aumentando su velocidad rotacional.

A su vez, las elípticas evolucionarán a espirales normales o barradas, mientras los núcleos van perdiendo importancia volumétrica y los brazos se van desarrollando. Las irregulares, en éste esquema, son las galaxias más jóvenes que acabarían, como quiera que nunca muestran estructura espiral o elipsoidal definida y que son agregados de polvo, gas y estrellas distribuidas aleatoria mente, siendo el resultado final de la evolución galáctica.

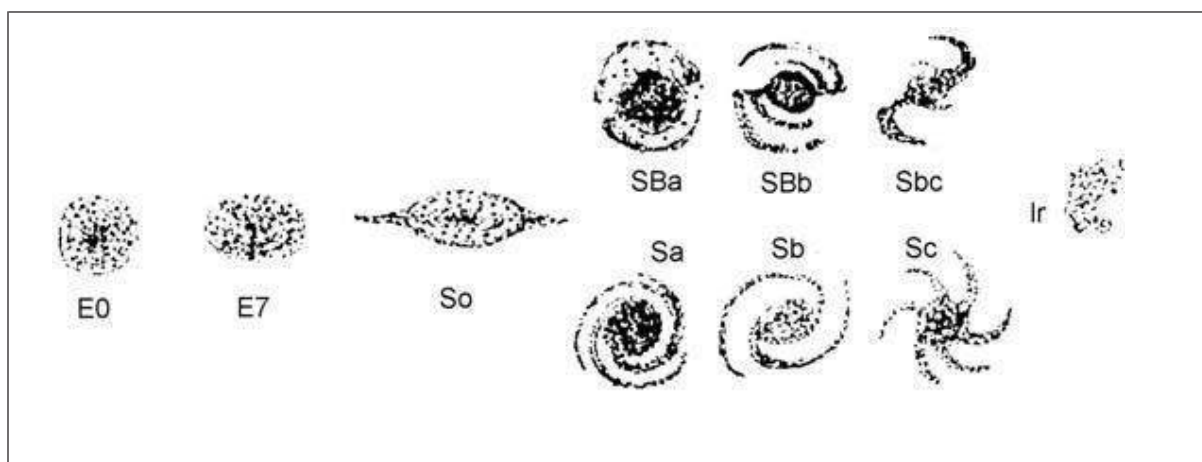


Figura 10.4. Sistema de clasificación de las galaxias: La frecuencia de las elípticas es 15%, de las lenticulares 6%, de las espirales 76% y de las irregulares 3%. Las subclases 0-7 de las E, muestra aplastamiento creciente. En las subclases a-c de las B y SB, se muestran núcleos cada vez menos robustos.



Pero **la dificultad de esta teoría**, en la cual las galaxias esféricas se transforman en elípticas, y estas en espirales, aparece cuando las observaciones señalan que las galaxias esféricas son tan lentas en su rotación, que difícilmente se achatarían; aún más, las elípticas no pueden desarrollar brazos espirales mientras de rotación no sea diferencial en un grado mínimo, ni pueden generar espirales teniendo más masa que estas.

Un importante interrogante surge sobre la relación de las galaxias con los cuasares. ¿Son los segundos, acaso, la fase inicial de las galaxias?. Se sabe que los núcleos galácticos son muy activos y que esta actividad varía entre unas y otras galaxias, posiblemente reduciéndose su intensidad con el tiempo. Los cuasares, son estructuras que muestran el estado de la materia a gran escala, en épocas vecinas al origen del Universo.

Inicialmente se da el colapso de una nube de polvo y gas cuando su densidad supere el valor crítico que permita el colapso gravitacional. La acreción será discreta formándose estrellas en cúmulos aislados. Nace así la galaxia irregular rica en polvo y gas y en estrellas de la población I. Por el giro no rígido de la galaxia, empieza a espiralizarse y se consolidan su núcleo y su halo, pudiendo ser espiral normal S o espiral Barrada SB.

Con el tiempo, los brazos se enroscan más pasando la galaxia de Sc hasta Sa o de Sb<sub>c</sub> hasta SB<sub>a</sub> (1/3 de las galaxias espirales son barradas). Se puede presumir que la forma lenticular de la galaxia en este momento, se debe al hecho de que el polvo y el gas se estabilizan en el plano medio, y no lejos de éste, porque la fuerza centrífuga es escasa cerca del eje de rotación.

Existirá una tendencia en las estrellas de las espirales a pasar al núcleo transformando la galaxia en el tipo SO, que muestre poco gas y polvo y núcleo más brillante, quedando relativamente pocas estrellas de la población I. La fase siguiente de la galaxia, es transformarse en Elíptica; (inicialmente tipo E7 muy achatada, y por último EO muy esférica). En el último estadio la galaxia ha perdido polvo, las estrellas son de la población II, su densidad ha aumentado y también su velocidad de rotación.

**La dificultad de esta teoría** evolutiva está en que no hay ningún mecanismo que pueda transformar ninguna estructura aplanada, como el núcleo de una galaxia espiral, en estructura esférica, y ni siquiera elipsoidal. Recuérdese además que las masas de las elípticas son más grandes que las de las espirales, sin que haya manera alguna de que una espiral llegue a completar la masa de una elíptica.

**Oort propuso un esquema** evolutivo en el que las elípticas forman una secuencia evolutiva y las espirales otra, sin ningún cruce. Según la teoría, la nebulosa intergaláctica inicial que dará vida a la nueva galaxia, tomará uno u otro destino, dependiendo de la cantidad de gas y polvo y de la cantidad de movimiento del sistema. Las que tengan deficiencia en una u otra cosa, o en ambas, llegarán a ser finalmente galaxias elípticas.

- **El tamaño y la masa.** De otro lado, la distribución global de estrellas en las galaxias elípticas y en los núcleos de las galaxias espirales, está directamente relacionada con la masa de un agujero negro del núcleo galáctico. Tampoco las galaxias más masivas son necesariamente de mayor tamaño que las menos masivas, pues suelen tener estructura es diferente: las más masivas presentan mayor concentración de masa en torno a su centro, casi siempre a causa del agujero negro supermasivo central.

Es posible estimar la masa del agujero negro central a partir de la dispersión de velocidades en la galaxia, o lo contrario La medida en la dispersión de velocidades, supone el examen por la luz del flujo galáctico a partir de imágenes con largos tiempos de exposición.

### 10.1.3. Cúmulos de galaxias y supercúmulos de galaxias

Los primeros se denominan también hipergalaxias. Las galaxias se organizan en colonias desde docenas hasta miles en cada una. Los segundos (Metagalaxias) son cúmulos de cúmulos, los cuales se distribuyen uniformemente en el espacio. Algunos cúmulos galácticos (nombres dados por la región), con su distancia en millones de años luz (a. l.) y velocidad de recesión en kilómetros por segundo (k/s), son:

Virgo, a 36 Mill de a. l., con 2500 objetos, alejándose a 1150 K/s

Pegaso I a 130 Mill de a. l., con 100 objetos, alejándose a 3800 K/s

Piscis a 130 Mill de a. l., con 100 objetos, alejándose a 5000 K/s

Cáncer a 160 Mill de a. l., con 150 objetos, alejándose a 4800 K/s

Perseo a 175 Mill de a. l., con 500 objetos, alejándose a 5400 K/s

Gemini a 570 Mill de a. l., con 200 objetos, alejándose a 23300 K/s

Bootes a 1240 Mill de a. l., con 150 objetos, alejándose a 39400 K/s

Nota: el Radio de Hubble, es la Distancia a la que la velocidad de recesión de una galaxia iguala la velocidad de la luz.

## LA VÍA LÁCTEA Y EL GRUPO LOCAL

Es nuestra galaxia con 100 mil millones de estrellas. El diámetro es de 100 mil años luz, el espesor de 20 mil años luz y estamos sobre el plano galáctico, a 30 mil años luz del centro. La galaxia muestra por lo menos tres brazos así: el de Sagitario a 24 mil años luz del centro galáctico, el de Orión (conteniendo el Sol) a 30 mil años luz del centro galáctico y el de Perseo a 36 mil años luz.

**El Sol órbita la galaxia** a 250 km/seg y tarda unos 200 millones de años en completar su órbita. Por el giro no rígido de la galaxia, para tener un sistema de referencias, el patrón local de reposo se definió como el volumen de espacio hasta 100 parsec contados desde el Sol en el que las velocidades se han promediado a cero. Las condiciones propicias para la vida en la galaxia suponen un cinturón en el plano medio de nuestra galaxia: lejos de su núcleo activo para escapar a la radiación, pero antes de alcanzar la periferia, donde faltan los elementos pesados y sólo abundan H y He.

**Las dos nubes de Magallanes** son satélites de la Vía Láctea a modo de un sistema planetario; la mayor de las nubes a 160 mil años luz tiene 10000 millones de estrellas y un diámetro de 35 mil años luz; y la menor a 190 mil años luz tiene 1000 millones de estrellas y un diámetro de 20 mil años luz. Ambas son tipo irregular mientras la Vía Láctea es del tipo  $S_b$ .

### 10.2.1. El Grupo Local y el Súper Grupo Local

**El Grupo Local (nuestra hipergalaxia)** lo conforman unas 30 galaxias siendo las más importantes la nuestra y la de Andrómeda (que en estrellas supera en 1.5 veces a la Vía Láctea); ambas separadas 2 millones de años luz, ubicadas en los extremos de la metagalaxia. En este cúmulo reducido tenemos también M 32 (compañera de Andrómeda), M 33 (Nebulosa del Triángulo), And I, And II, And III (también compañeros de Andrómeda), Leo I, Leo II (ambos a 750 mil años luz), las del catálogo NGC de números 6822 (tipo Ir), 185 (tipo E0), 205 (tipo E6) y 147 (tipo E4), la IC 1613 (galaxia Ir de 10000 a. l. de diámetro), la Carina, la Formax, la Draco y Sculptor. Todo el cúmulo de galaxias en un volumen con un radio próximo a los 2.5 millones de años luz.

Pero el grupo local pertenece al **súper grupo local (metagalaxias)** cuyo centro es Virgo a 50 millones de años luz de nosotros y compuesto por miles de galaxias ligadas gravitacionalmente en estructuras hipergalácticas. Entre sus muchos miembros (50? cúmulos) diseminados en un volumen de unos 75 millones de años luz, se destacan Osa Mayor, Canes Venatici, Sculptor, grupo local, M 66, M 101, M 81, los NGC 4274, 3245, 5566, etc.

No obstante, hay otros supercúmulos con cúmulos tan destacados como Boyero el más lejano fotografiado, distante unos 5 mil millones de años luz y quien se aleja a la mitad de la velocidad de la luz, o el de Cabellera con unos 1000 miembros brillantes a 400 años luz ubicado, como su nombre lo indica, en la constelación Cabellera de Berenice.

### 10.3. LA GRAN MURALLA SLOAN Y LA GRANPARED

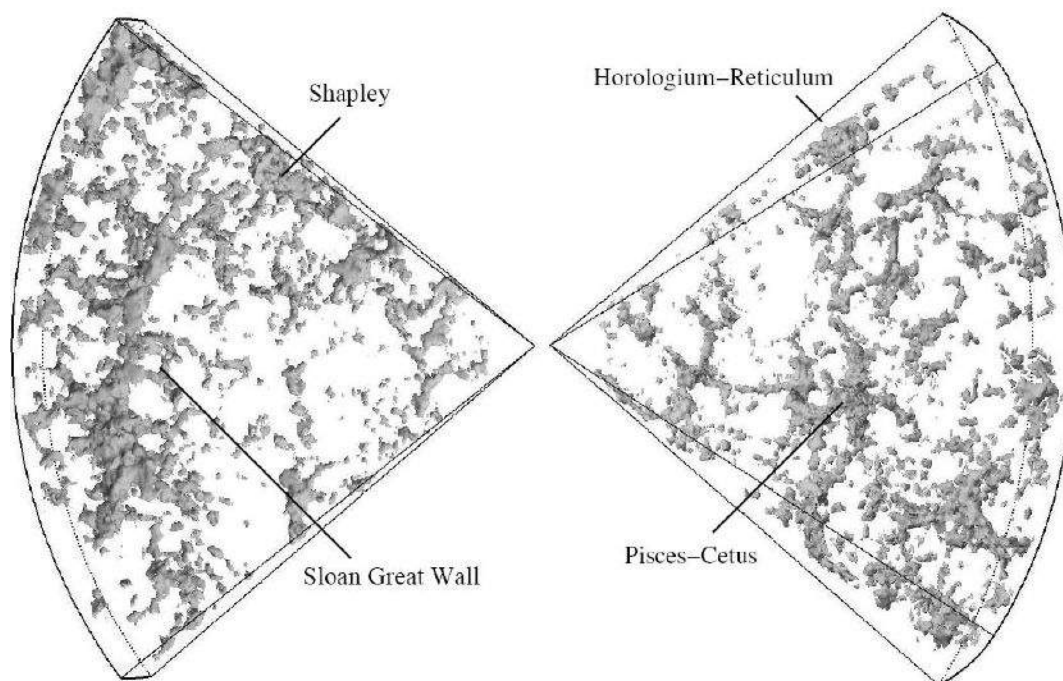


Figura 10.5: La Gran Muralla Sloan en una reconstrucción: no se debe confundir con la Gran Pared, una estructura similar que le sigue en tamaño, allí contenida. Fuente, <https://es.wikipedia.org>

Hasta 1960 se suponía que la distribución de las galaxias en el espacio era aproximadamente uniforme, es decir, prácticamente al azar. La excepción eran las acumulaciones que aparecían en ciertas regiones, por la presencia de cúmulos de galaxias; hasta los años 70, algunos astrónomos también defendían la idea de que esos cúmulos se conectaban entre sí, pero las observaciones posteriores indicaron que las galaxias se ubican sobre las superficies de enormes burbujas, dentro de las cuales habría un vacío completo.

Sin embargo, hoy se ha analizado la distribución espacial de miles de galaxias gracias a modernas técnicas de mapeo y se encuentra que la distribución de galaxias en el espacio sigue esquemas muy distintos a los que se creía. Además de los cúmulos y supercúmulos de galaxias, la distribución de las galaxias muestra que también existen regiones totalmente vacías de galaxias en oposición a las grandes acumulaciones.

La Gran Muralla Sloan es una extensa estructura de galaxias de unos 1.370 millones de años luz de longitud, ubicada a 1.000 millones años luz, separada por zonas donde no se observan galaxias.

Todas las zonas estudiadas que corresponden a regiones relativamente cercanas a la Vía Láctea, parecen responder a esta clase de estructura. Si la mayor estructura del Universo que se conoce actualmente es la Gran Muralla Sloan galáctica, descubierta por J. Richard Gott III y Mario Jurić en 2003, a dicha superestructura que le sigue en tamaño la Gran Pared descubierta en 1989 por Margaret Geller y John Huchra de 500 millones de años luz de largo, 300 millones de años luz de ancho y 15 millones de años luz de profundidad, ubicada a unos 200 millones de años luz.

#### 10.4. ACCIONES E INTERACCIONES DE GALAXIAS

**Galaxias Seyfert:** de núcleo muy brillante y desplazamiento al rojo moderado; Contienen gases a alta temperatura, la mayoría son espirales, parecen el puente entre las galaxias corrientes y los Cuásares.

**Los objetos BSO:** Galaxias que semejan estrellas azules, pero con enormes cambios al rojo. Son semejantes

a los cuásares en distancia, luminosidad y tamaño pero no emiten radio ondas. Por ser más numerosos se supone que viven más tiempo que los Cuásares.

**Galaxias N:** sistemas muy distantes, de pequeño núcleo muy brillante; supuestamente son elípticas, también se relacionan con los Cuásares.

**Galaxia Makariana:** aquella que desprende mucha radiación ultravioleta, muchas de ellas son tipo Seyfert.

**Objeto BL-Lagarto:** objeto relacionado con Cuásares, pero más cercano (poco desplazamiento al rojo) y similar a una estrella pero cambia con rapidez de brillo. Se supone que es galaxia elíptica de núcleo muy brillante y además radiofuente. Se supone sea una galaxia en explosión.

**Galaxia Infrarroja:** galaxia con emisión anómala (intensa y en detrimento del azul). El desequilibrio supone el efecto máser de amplificación de microondas (funciona como el láser) y se cree que la extraordinaria regeneración de estrellas (varias veces al año) excita el polvo y gas galáctico a velocidades de 1600 km/seg produciéndose el efecto megamáser. Los gases almacenan energía alcanzando niveles de equilibrio inestables, posteriormente el efecto pasa y los niveles energéticos caen liberándose la energía acumulada.

**Radiogalaxias.** La Radioastronomía una de las disciplinas más recientes de la Astronomía, surgida en la década de los 40, utiliza el radiotelescopio para medir y ubicar la intensidad de las fuentes emisoras de señales estelares y no estelares en el espacio. Luego, con telescopios convencionales, se intenta identificar estas fuentes, resultando pertenecer a planetas, estrellas, nebulosas, galaxias, o a otras fuentes que no tienen identificación visual.

Entre las fuentes, algunas parecen ser galaxias de aspecto peculiar y otras son galaxias de apariencia normal. Estas últimas exhiben características que indican un cierto grado de actividad en sus núcleos o en otra región de sus estructuras. Ambas se denominan radiogalaxias. Las galaxias elípticas como la Centaurus A, se cuentan entre las más potentes fuentes radioemisores.

**Nota:** En el núcleo de la Vía Láctea se supone un agujero negro, en un torbellino de gas con un radio de 2500 millones de kilómetros. El torbellino rota a 750 km/seg y por la radiación que produce en la región (Sagitario-A), se estima temperaturas de 100 millones de °K y una densidad aproximada de 3 millones de masas solares, en un radio entre 5.7 y 14 billones de kilómetros. Cosa similar existiría en las galaxias M 32 y M 87.

### 10.5. AGUJEROS NEGROS, QUASARES Y GALAXIAS.

La estrecha relación entre agujeros negros y galaxias surge porque vez se están descubriendo más agujeros negros en el centro de las galaxias. Sobre quien aparece antes, unos proponen que fueron primero las galaxias porque los agujeros negros surgen cuando la masa se acumula en el centro de las galaxias, hasta colapsar. Otros sostienen lo contrario: que en torno a la enorme gravedad de los agujeros negros se reúnen gas, polvo y estrellas, provocando la formación de las galaxias.

**Quien primero** En la Universidad Ohio han encontrado más pruebas de que los agujeros negros se forman antes que las galaxias que los contienen. Después de estudiar una población de cuasares ubicados a unos doce mil millones de años, han encontrado que, en esta temprana edad del Universo, estas jóvenes galaxias energéticas, activas a modo de grandes donde se formaban nuevas estrellas también contaban con un agujero negro masivo, completamente formado.

La conclusión es entonces que existe una conexión entre las galaxias y los agujeros negros supermasivos de sus centros y esa permite determinar la masa de estos enigmáticos objetos del Universo, a partir de la imagen de las galaxias donde residen. La masa de los agujeros negros supermasivos varía entre un millón y mil millones de soles. Aun así, el radio del "horizonte de sucesos" que marca la frontera de un agujero negro de un millón de masas solares, es sólo unas cuatro veces mayor que nuestra estrella.

- **Canibalismo galáctico.** En los centros de los mayores cúmulos de galaxias, se encuentran galaxias mayores que las normales, rodeadas por una nube de cúmulos globulares, de tamaño excepcional. Una hipótesis es que estas enormes galaxias crecieron absorbiendo materia de las galaxias vecinas, lo que se ha denominado canibalismo galáctico.

- **Galaxias interactuantes.** Existe un gran número de galaxias dobles o sistemas de dos galaxias interactuando gravitatoriamente entre sí. Algunos de esos sistemas muestran casos de galaxias espirales conectadas por sus brazos (si son espirales) o de galaxias elípticas conectadas a través de una estructura difusa. Estos sistemas dobles de galaxias interactuantes, están asociados a fuentes emisoras de radiación, únicamente detectable con radiotelescopios.

Se ha sugerido que esos sistemas podrían ser galaxias en colisión. El mecanismo responsable de la intensa radiación observada debe explicarse por la interacción de las nubes de polvo y gas si pueden interactuar y no por la colisión de estrellas que es menos probable.

- **Quasares y galaxias.** Se pregunta si los quásares son un estado particular en el desarrollo y evolución de las galaxias: en sus primeras fases de evolución. El brillo de los quásares varía de forma irregular, tanto en radio ondas como en luz visible.

Su análisis sugiere que el origen de su emisión no es el resultado de la presencia de estrellas y que la intensa energía proveniente de los quásares parece deberse a procesos diferentes a los estelares, pues se trataría de radiación que no depende de la temperatura del cuerpo emisor.

Se han detectado explosiones de Rayos X en los quásares; En noviembre de 1989, el quásar PKS 0558-504 duplicó su radiación X en sólo 3 minutos. La cantidad total de energía emitida la que emite el Sol en millón de años.

Los desplazamientos al rojo de las líneas observados en sus débiles espectros como en el de las galaxias, anuncian la expansión del Universo. Sin embargo, algunos astrónomos que sugieren otra posibilidad tienen la evidencia de corrimientos al rojo, totalmente diferentes. Obtenidos de quásares aparentemente conectados físicamente a galaxias próximas a ellos. Lo más probable es que esas interacciones entre quásares y galaxias son conexiones aparentes.

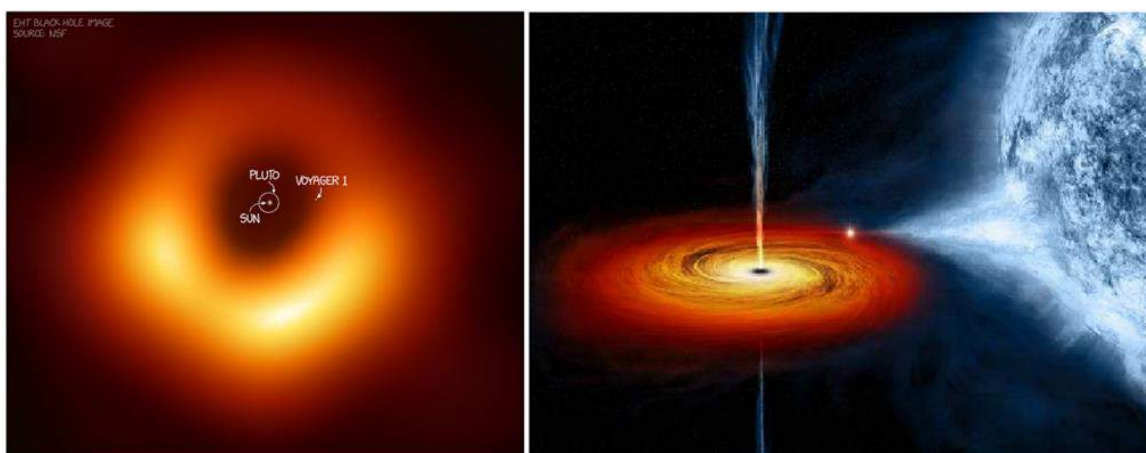


Galaxias y quásares se perfilan como astros claves para definir la estructura que tendría el Universo; cuestión de carácter fundamental para la Cosmología, en la cual se plantean varios modelos, ninguno de ellos aceptado por completo, hasta no poseer datos observacionales suficientes para elegir uno entre todos.

El descubrimiento de los quásares se debió a su intensa emisión de radio ondas, pero luego pudo determinarse que también son fuentes de Rayos X, radiación ultravioleta, luz visible e infrarroja, es decir, una emisión intensa en todo el espectro electromagnético. En 1963 M. Schmidt identificó por primera vez el quasar 3C 273, resultando estar a unos 2000 millones de al y ser el objeto más alejado en ese entonces. Posteriormente, por el corrimiento al rojo de todos los quásares, mayor que el de las galaxias conocidas, se comprobó que ellos se encontraban más distantes que cualquier galaxia y en las fronteras del Universo conocido.

El quasar más alejado observado hasta 1992 es el designado como PC1158+4635 (en dirección de la constelación de Osa Mayor); su distancia se ha estimado en los 10 mil millones de al. Se ha estimado que las dimensiones de los quásares no superan la del Sistema Solar, mientras su radiación total excede con creces a la de 100.000 millones la del Sol.

## 10.6 OTRA PRUEBA DE LA TGR: EL AGUJERO NEGRO DE M87.



SIZE COMPARISON: THE M87 BLACK HOLE AND OUR SOLAR SYSTEM *Sygnus X-1, Black Hole in a binary system. NASA/CXC/M.Weiss*

Figura 10.6: The M87 Black Hole and Solar System (imgs.xkcd.com) and Cygnus X-1, a stellar-mass black hole in a binary system. (NASA/CXC/M.Weiss).

En un histórico anuncio para la astronomía, el proyecto “Event Horizon Telescope” conformado por más de 200 investigadores, utilizando un algoritmo generado en el MIT ha conseguido otra imagen que prueba la Teoría General de la Relatividad TGR, con la fotografía de un agujero negro supermasivo ubicado en el centro de la galaxia M87, capturado desde el “Telescopio Horizonte de Sucesos”, un radiotelescopio virtual conformado por antenas acopladas de ocho observatorios ubicados en seis diferentes lugares de la Tierra: Arizona, Chile, Hawai, España, México y el Polo Sur.

Se trata de la primera imagen obtenida de un agujero negro, presentada el pasado 10 de Abril en una conferencia simultánea para Bélgica, Santiago de Chile, Tokio, Shangai, Washington y Taipei, también replicada en centros de investigación de distintas partes del mundo. Mientras M87 ubicada a 55 años luz de distancia, pese a su lejanía se observa con telescopios pequeños como una mancha nubosa con 8,3 por 6,6 minutos de arco de tamaño angular, la toma de su agujero negro de sólo 40 microsegundos de arco, requirió de dicho instrumento en un arreglo tan grande como la Tierra para su observación.

Como antecedente, en 1974 utilizando el interferómetro de línea de base del Observatorio Nacional de Radio Astronomía de EE UU, se descubrió en el centro de la Vía Láctea una fuente pronosticada en 1971 que emite radiación electromagnética, asociada al efecto gravitacional de un objeto masivo al que se le denominó Sagitario A. Según estimaciones la masa de este hueco negro del centro de nuestra galaxia distante 26 mil años luz desde la Tierra, con 4,1 millones de masas solares, está comprimida en un espacio que abarca 32 diámetros solares.

Aunque el anterior fue el primer indicio observado de un agujero negro masivo, ahora la imagen de simulación de otro cuerpo similar más masivo en M87, con unas 6.500 millones masas solares y 120 mil años luz de diámetro ubicado en dirección a Virgo por fuera de la Vía Láctea, muestra en su núcleo la presencia de un anillo de fuego en medio de la oscuridad y en torno a una región negra: el agujero negro supermasivo que explica el desvío de los rayos de luz alrededor del horizonte de eventos de un agujero negro, y que con la trayectoria del plasma atraído gravitacionalmente al disco de acreción prueba la deformación relativista del espacio.

Utilizando la interferometría de línea de base muy larga, la imagen obtenida del agujero negro pese a ser un ente invisible gracias a sus efectos de frontera apreciados al observar su horizonte de sucesos de M87, según la Teoría General de la Relatividad de Albert Einstein formulada en 1915, es una superficie imaginaria de forma esférica que antecede y envuelve esa extraña región, donde el espacio se rompe y el tiempo se detiene, y de cuyo interior no pueden escapar los fotones, ni otra forma de materia salvo los efectos cuánticos debidos a las fluctuaciones del vacío que dan origen a la llamada radiación de Hawking.

Lo anterior dado que la velocidad de escape necesaria para alejarse del agujero negro debería superar la velocidad de la luz, lo cual no es posible de conformidad con los postulados de la relatividad general. Y aunque se conoce que en dicho lugar sin retorno el espacio-tiempo concluye en una singularidad inalcanzable en la que la materia se comprime indefinidamente haciéndose invisible, la evidencia aparece con el horizonte de sucesos o de eventos, cuyo tamaño dado por el denominado radio de Schwarzschild, depende de la materia absorbida por el agujero negro: cuanto mayor sea su masa, mayor será el radio del agujero negro.

De ahí la importancia del histórico logro como punto de partida para continuar el estudio de Sagitario A en el centro de nuestra galaxia con sus 44 millones de kilómetros de diámetro por estar más cercano, y de otros agujeros supermasivos ubicados en los centros de las galaxias elípticas y espirales para desentrañar su rol en la formación de las galaxias, y para continuar descifrando los enigmas del desconocido de nuestro Universo, donde también esperan teorías en desarrollo como la Gravedad Cuántica, la Teoría de Cuerdas y la Materia Oscura.

\* [Ref.: La Patria. Manizales 2019.04.22.]

## **10.7. LOS MARES DE LA PATRIA.**

### **A. Día mundial de los océanos.**

Se ha celebrado el pasado 8 de junio el Día Mundial del Océano, con este lema para el año 2011: “Nuestros océanos: por un futuro verde”. Venimos de los mares, allí surgieron las primeras formas de vida.

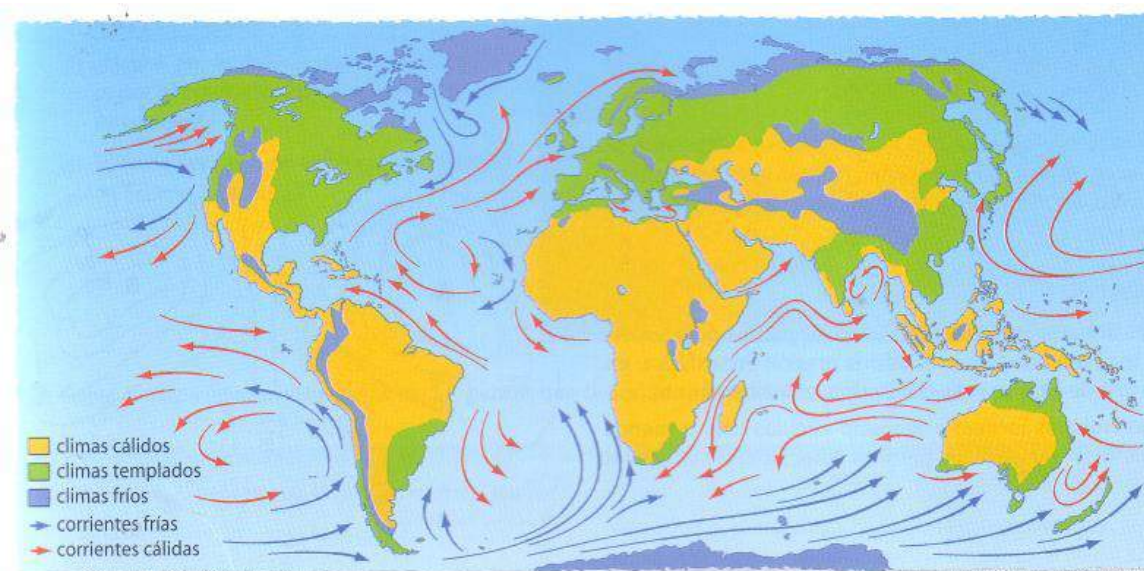


Figura 10.7. Corrientes oceánicas y clima de la Tierra, en [www.quimicaweb.net](http://www.quimicaweb.net) .

Primero aparecieron las células primitivas, y de ellas los organismos unicelulares originales a partir de los cuales la vida se fue haciendo cada vez más compleja y organizada; millones de años después llegaron los vegetales y animales terrestres, y de estos finalmente el Homo Sapiens que al evolucionar culturalmente, paradójicamente procede más tarde a contaminar el mar para comprometer la estabilidad biológica de su propio hábitat, el Planeta azul donde su capa de la hidrósfera iluminada por el Sol, ecosistema del fitoplancton, es la zona crítica de la biosfera, por ser base de todas las cadenas alimentarias de la vida animal marina, y como tal importante fuente de alimento para nosotros.

Dado que en las primeras decenas de metros sobre la línea donde el continente se encuentra con el océano, vive la mayor proporción de la población del planeta, es allí donde más afectación se causa al ecosistema, máxime cuando también los mares regulan el clima global al incidir sobre su temperatura, humedad del aire y precipitaciones. Igualmente, las algas del plancton del extenso océano que en el proceso de fotosíntesis intercambian con la atmósfera dióxido de carbono y otros gases relacionados con el calentamiento global, además de contribuir con la anterior función previenen la eutrofización del medio marino, gracias al tratamiento de los fosfatos y nitratos contenidos en los vertimientos contaminantes que en retribución a sus servicios irresponsablemente le proveemos desde las ciudades,

como evidencia de que parecemos ser una civilización con vocación suicida.

Y dado que Colombia cuenta con 988.000 km<sup>2</sup> de extensión marítima, cuantía que equivale al 86,5% de la superficie del país donde el área continental alcanza 1.141.748 km<sup>2</sup>, es hora de pensar en nuestros mares con sus ecosistemas, recursos pesqueros y mineros, y oferta cultural y paisajística de nuestras costas y regiones insulares. En ellos poseemos un potencial como medio de transporte que facilita la convergencia de rutas marítimas y aéreas para el comercio, ya que los mares de la Patria ofrecen posibilidades para una conexión interoceánica.

Es que el alcance estratégico de nuestro territorio va más allá de estas regiones mediterráneas, tal cual lo señala nuestra Constitución Política al contemplar el dominio marítimo y agregar, como tema pendiente por definir los límites aéreos de la Patria, otro espacio que comprende nuestra órbita geoestacionaria ubicada sobre la fracción del Ecuador en el cenit de una línea imaginaria de un poco más de 600 km, cubriendo el alineamiento que empieza aguas abajo de Puerto Vargas, Putumayo, cerca de la común frontera con Ecuador y Perú, y cierra al Norte de la cabecera del Río Taraira del Vaupés, en la frontera con Brasil.

Pero los colombianos, por no haber tenido una visión marítima o haber vivido de espaldas a los océanos, escenarios por los cuales se moviliza el 90% del comercio del mundo, debemos obtener provecho de nuestra posición geoestratégica luego de tomar conciencia suficiente de la fragilidad de nuestros ecosistemas marítimos y de su importancia económica, cultural y ambiental.

Contamos con 2900 km de extensión en ambos litorales, donde la luz solar llega durante todo el año y no tenemos estaciones. Allí están los manglares, importantes por su papel como estructuras que previenen la erosión costera, amenazados por los sedimentos de nuestros ríos que reducen la alta productividad de su diversidad biológica, al albergar especies de peces, crustáceos y moluscos, además de aves, batracios y otras especies que pueblas estos biotopos acuáticos y terrestres. Igualmente, para su preservación, se deberán tomar las previsiones del caso para no afectar esta riqueza en el momento de explotar recursos del subsuelo marino, primero con los hidrocarburos de las plataformas tectónicamente estables de la región insular del Caribe colombiano, y mañana con los nódulos polimetálicos de las

llanuras abisales de nuestro Pacífico, fuente de manganeso, hierro y otros metales contenidos en dichas concreciones.

## B. Colombia y sus mares frente a los desafíos del desarrollo

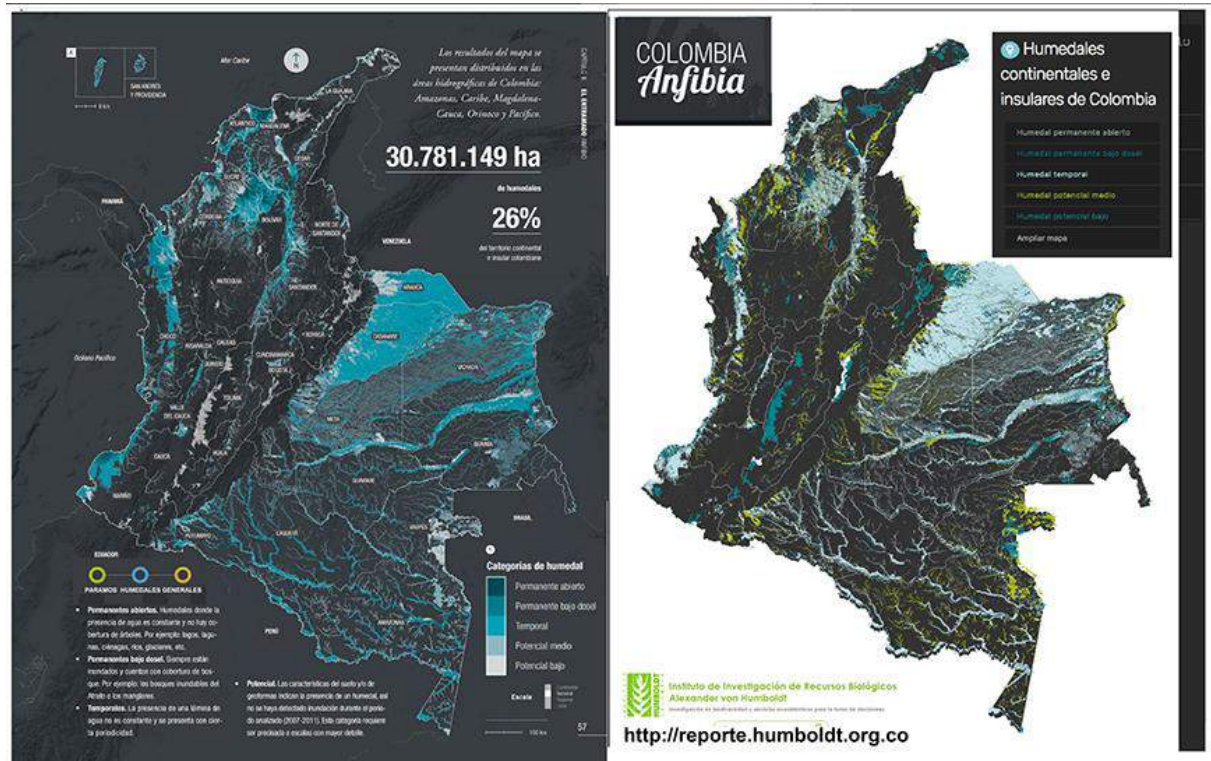


Figura 10.8 Colombia anfibia. Instituto Alexander von Humboldt.

Cuando el 90% de las mercancías del planeta se desplaza por mares y el protagonismo de la economía planetaria ha pasado de la Cuenca del Atlántico a la del Pacífico, los colombianos, que por no haber tenido una visión marítima perdimos a Panamá y hemos sido sorprendidos por las decisiones sobre los límites del territorio insular, podemos resolver esa “anemia económica” típica de las regiones mediterráneas del planeta, entrando al Siglo XXI con políticas públicas y acciones estratégicas orientadas a sacar provecho de la posición geoestratégica de nuestro territorio, llevando el desarrollo a nuestras costas.

Además de una superficie continental de 1´141.748 km<sup>2</sup>, cuenta con 928.660 km<sup>2</sup> de áreas marítimas separadas por una línea de costa de 2900 km, 1600 kilómetros en el Mar Caribe y 1.300 km en el Océano Pacífico. Limitamos por mar con Costa Rica, Nicaragua, Honduras, Jamaica, República Dominicana y Haití, a pesar de no haber mostrado interés por conquistar esta frontera para satisfacer las necesidades de la Nación, nuestras reivindicaciones marítimas comprenden la zona contigua de 24 millas náuticas, una plataforma continental de 6.528 km de extensión, la zona económica exclusiva de 200 millas náuticas y el mar territorial de 12 millas náuticas.

Mientras el Caribe colombiano con 589 mil Km<sup>2</sup> de extensión brilla por sus ecosistemas coralinos, manglares, playas, lagunas costeras y estuarios, y una plataforma con praderas de pastos marinos y fondos rocosos y blandos de arena y fango, con variada fauna y flora, lo que incluye las islas, cayos, bajos y el mar abierto que rodea al Archipiélago de San Andrés y Providencia, también el Pacífico colombiano con 339 mil Km<sup>2</sup>, y sus costas húmedas de arena, acantilados y manglares, hace parte de un sistema insular que parte de la Isla Cocos en Costa Rica, pasa por Gorgona y Malpelo en Colombia y cierra en las Islas Galápagos de Ecuador, para conformar un corredor marino utilizado por ballenas, tortugas, atunes y especies migratorias.

Para empezar, el país que tiene una deuda histórica con poblados y comunidades costeras, en especial con las del Pacífico, por no haber mirado a nuestros mares para traducir las actividades tradicionales como la pesca y transporte marino en términos de su desarrollo, además de prevenir enclaves como el de Buenaventura, debe ahora avanzar empleando la ciencia y la tecnología al conocimiento de las dinámicas ambientales de nuestros mares y de su relación con la atmósfera, vigilando de paso el patrimonio biótico y proyectando el potencial aprovechamiento de los recursos oceánicos en sus aguas, los fondos y el subsuelo de esta frágil y desconocida frontera, donde debemos la conservación y el conocimiento de sus lugares más biodiversos.

Aún más, si por el medio ecosistémico brillan nuestros mares, por lo cultura aún más: la del Caribe que tiene profunda huella en el desarrollo de la modernidad colombiana, pasa por “cien años de soledad”; por la Cumbia, el Porro, el Vallenato, el Bullerengue y el Mapalé, resultado de la argamasa de elementos

indígenas, africanos y españoles; por el arroz con coco y las murallas de Cartagena; o por el sombrero “vueltaio” y la mochila arhuaca. Y en el Pacífico, la tierra de los Currulaos como Mi Buenaventura de Petronio Álvarez, su cultura evoca la Marimba de chonta, el Cununo macho y hembra y la Tambora o bombo; por la Chirimía y los Bailes de Pellejos; pasa también su cultura por la cestería y sombrerería de pajillas obtenidas de la vena del chocolate y del amargo, y la orfebrería de Istmina elaborada en metales finos.

Lo anterior, asunto que obliga a emprender un ordenamiento territorial y geopolítico que haga visible lo étnico y lo cultural de Colombia, que valore la componente estratégica de nuestros mares, empiece por el fortalecimiento institucional y el desarrolle la infraestructura social y productiva de las regiones y territorios económicamente más pobres. Sólo llevando el progreso a los pobladores de nuestras costas y regiones insulares de la patria, podremos ejercer como Nación soberanía y dominio sobre nuestros mares, y abrir las puertas a los dos mayores océanos del planeta desde la mejor esquina de América.

[Ref.: La Patria. Manizales, 2015.06.22]

## 10.7 LAS CUENTAS DEL AGUA.

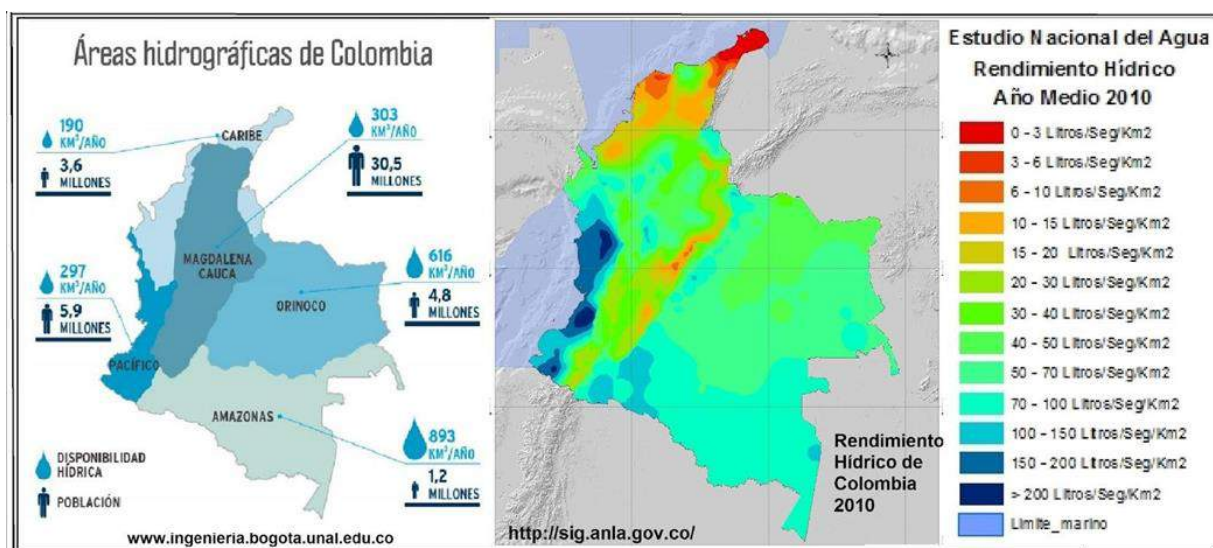


Figura 10.9. Colombia: Áreas hidrográficas y Rendimiento hídrico. (ENA Colombia), en:

[www.ingenieria.bogota.unal.edu.co](http://www.ingenieria.bogota.unal.edu.co) y <http://sig.anla.gov.co>



Colombia, con 2.011 kilómetros cúbicos de aguas de escorrentía y 5.848 kilómetros cúbicos de aguas subterráneas, es reconocida por su potencial hidrológico: según el Estudio Nacional del Agua, ENA, nuestro rendimiento hídrico estimado en 56 l/s/km<sup>2</sup>, es 5,2 veces superior a la media mundial y 2,7 veces a la de América Latina; de ahí la necesidad de fortalecer el Sistema Nacional de Áreas Protegidas que alberga el 62% de los nacimientos de agua, ya que abastecen al 50% de la población y al 20% del sistema de generación hidroenergética.

Mientras que por superficie, la cobertura de bosques del país llega al 53.5% y la de humedales al 2,7%, cada año deforestamos cerca de 300 mil ha, 100 mil de ellas en la región Andina, que con el 24% de la superficie continental y el 75% de la población, solamente posee el 13% de la oferta de agua superficial y subterránea.

Es que la escasez del agua agravada por procesos de urbanización, cambios en el uso de la tierra y degradación ambiental, por una gobernabilidad débil, y por el costo económico de los frecuentes desastres naturales de origen climático, es un asunto político y social de gran importancia que igualmente nos afecta: en Colombia, con 24 grandes ciudades de las cuales Bogotá representa el 16 % de su población y con Cundinamarca el 26 % del PIB, en 2008 la participación del agua en el PIB nacional fue del 10% (incluido un 2% por la hidroelectricidad), además los costos económicos de la contaminación hídrica ascendieron al 3,5% del PIB, y según el Banco Mundial el costo oculto de la mala calidad del agua y de los servicios de saneamiento, podría ascender al 1% del PIB.

Dada la problemática acentuada por el cambio climático, en el siglo XXI muchas sociedades deberán enfrentarse a la crisis ambiental del agua, y Colombia no será la excepción: en los años secos nuestra oferta hídrica ya se ha reducido el 38%, incidiendo con mayor intensidad en áreas hidrográficas de baja eficiencia hídrica como La Guajira y sectores con el mayor factor de aridez en el Caribe y la región Andina. Además, en Colombia, donde la cobertura de agua potable alcanza 96% de las ciudades y 56% de las áreas rurales, de 1122 municipios de la geografía nacional, según la Defensoría del Pueblo 521 consumen agua sin tratamiento alguno, el 70% de ellos con riesgo para la salud y en el 21%

sanitariamente inviable; y de 318 cabeceras municipales con amenaza de desabastecimiento, 265 se alimentan de corrientes de agua superficiales, 24 obtenida de pozos profundos y 25 de reservorios o soluciones mixtas.

De ahí la importancia de la institucionalidad, para elevar la productividad del agua sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas, máxime si se tiene en cuenta la deficiente capacidad de municipios y algunas CARS para enfrentar un sensible asunto que pasa por el cuidado de los páramos y humedales amenazados por la minería, por el vertimiento de mercurio contaminando aguas que alimentan poblados enteros, y por la pérdida de resiliencia del Magdalena agobiado por 135 millones de toneladas anuales de sedimentos en suspensión.

Creado el Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible en reemplazo del Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras HIMAT, aparece el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM que desde su inicio, en 1995, se trazó como objetivos principales la necesidad urgente de conocer y estudiar la riqueza en agua del país, y el uso y las medidas de protección de nuestro patrimonio hídrico.

Por fortuna ha logrado el IDEAM ir más allá de los intereses sectoriales, al poder alertar sobre el potencial desabastecimiento para algunos centros urbanos del país y entregar avances en cada versión del ENA sobre la interdependencia del patrimonio hídrico con la biodiversidad, el suelo, el subsuelo y la atmósfera, incluyendo enfoques fundamentales como el concepto de la huella hídrica, y abordando el análisis del comportamiento del ciclo hidrológico en el territorio nacional, contemplando cuencas hidrográficas, cuerpos de agua y aguas subterráneas. No obstante, el país está urgido de acciones y soluciones para enfrentar dicha problemática socio ambiental, en el marco de la adaptación al cambio climático.

[Ref.: La Patria. Manizales 2016.08.29]

## 10.8 NUESTRAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

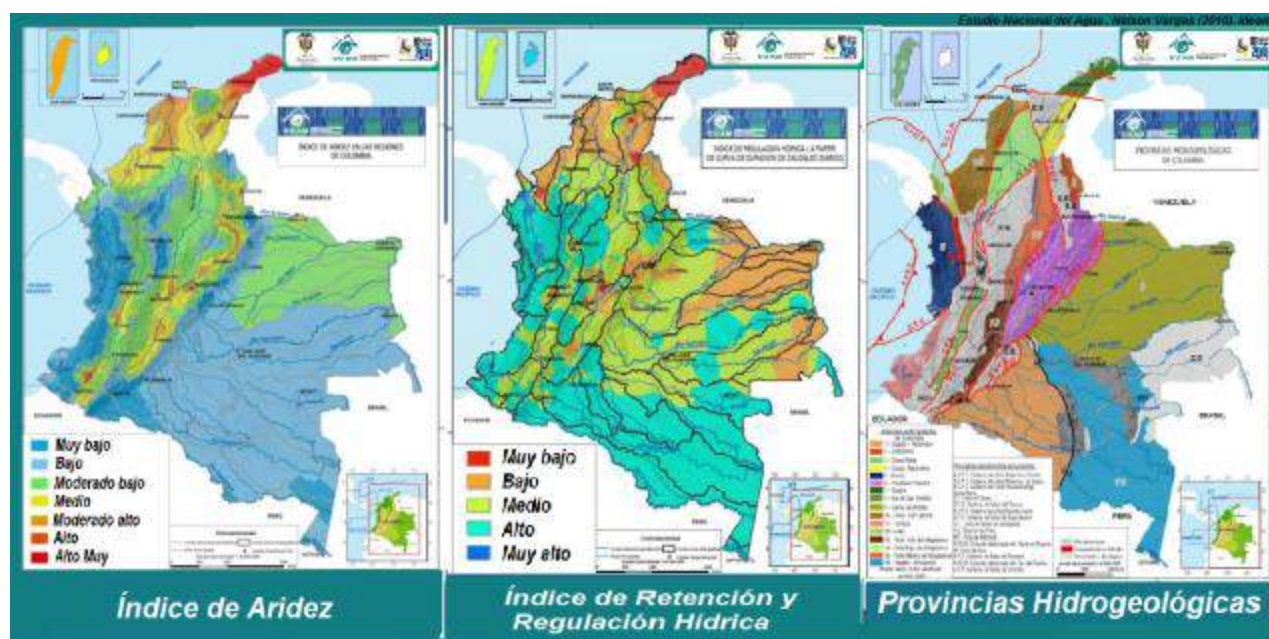


Figura 10.10, Colombia: Índices del agua y Provincias hidrológicas. Estudio Nacional del Agua. Nelson Vargas. IDEAM 2010.

Mientras en grandes regiones como Australia y EE.UU. el 60% del agua utilizada proviene del subsuelo, en Colombia, donde el 31% del agua dulce está contenida en acuíferos y la Ley ha tenido que legislar para proteger los páramos, hace falta garantizar el carácter patrimonial y de bien público del agua subterránea. Si en el país lo técnico-administrativo está al día, falta para su gestión la dimensión socioambiental, lo que incluye problemáticas como la severa deforestación, la contaminación por efluentes mineros y lixiviados, el uso sin restricciones y la falta de incentivos para su preservación.

Aunque en el país las cuencas hidrogeológicas con posibilidades de aprovechamiento abarcan el 74% del territorio, según el estudio “Zonas hidrogeológicas homogéneas de Colombia” del IDEAM (2005), mientras el 56% de dicha área corresponde a la Orinoquía, Amazonía y Costa Pacífica, y el 31,5% a la región Caribe e Insular, sólo el 12,5% está en la Región Andina, que es la más densamente poblada: al respecto, el citado documento advierte cómo por la Depresión Momposina pasa el agua de este 23% del territorio nacional, contaminada con efluentes de 30 millones de colombianos y 80 toneladas anuales de mercurio provenientes de 1200 minas de oro de aluvión.

Las cuencas hidrogeológicas más utilizadas, según el IDEAM, son las de los valles del Cauca, Magdalena Medio y Superior y la Cordillera Oriental; siguen en importancia, las de los golfos de Urabá y de

Morrosquillo y de los departamentos de Bolívar, Magdalena, Cesar y La Guajira. No obstante, habrá que trazar estrategias a largo plazo, para prevenir desórdenes ambientales mayores que los del agua superficial, e incluso daños irreversibles en las aguas subterráneas. Posiblemente en la Sabana, tras el advenimiento de la floricultura, se están explotando los acuíferos, a tasas superiores a su reposición, situación que se agrava por: la eutrofización de sus lagunas, precaria precipitación del altiplano, vulnerabilidad a la erosión severa de sus suelos y bajos rendimientos medios de agua en sus cuencas altas.

En Caldas, sabemos que en el cañón del Cauca donde se sufre el impacto por escasez de agua, Corpocaldas traza estrategias con participación de actores sociales para mitigar el riesgo severo de sequias por baja precipitación, avanza en acuerdos con las CAR de los departamentos vecinos que comparten nuestras cuencas para lograr su necesario ordenamiento, y pretende en el oriente caldense donde el patrimonio hídrico es abundante, velar por el manejo sostenible de los proyectos hidroenergéticos para que operen con responsabilidad social y ambiental, no como enclaves económicos.

En el Eje Cafetero, para trazar las políticas públicas relativas a la conservación, uso y manejo del patrimonio hídrico subterráneo, y para enfrentar la amenaza del cambio climático y la vulnerabilidad sísmica e hidrogeológica, deberá implementarse un programa de investigación y desarrollo integral y a nivel de detalle en el tema del agua, de carácter interinstitucional e interdepartamental con la concurrencia de las Gobernaciones, las CAR, la academia, Ingeominas y el MAVDT; las fortalezas institucionales, planes de ordenamiento y manejo ambiental de cuencas, niveles de información de base existente, entre otros elementos, facilitaría el programa.

Habrà que reconocer y caracterizar las unidades hidrogeológicas, mediante geología directa de campo, prospección geofísica y perforaciones exploratorias; hacer una evaluación hidrodinámica de los acuíferos y flujos de aguas subterránea, desde las zonas de recarga hasta los reservorios y de allí a los manantiales, además de conocer las condiciones hidrológicas del territorio, lo que significa dimensionar el ciclo hidrológico y entrar a corregir los conflictos severos entre uso y aptitud del suelo, relacionados con el estado de nuestras cuencas abatidas por el descontrol hídrico y pluviométrico, consecuencia de la deforestación y potrerización del territorio.

Según CORPOCALDAS, de una extensión de 744 mil Ha, en 2010, las coberturas verdes del departamento eran: 300 mil Ha en pastos y rastrojos (40%), 265 mil Ha en cultivos (36%) y 163 mil Ha en bosques (22%), tres cuantías que cubren el 98% de nuestro escarpado y deforestado territorio. Igualmente, según estudios



promedio mundial y tres veces el de Latinoamérica, solamente trata de manera adecuada el 11% de los vertimientos que genera el país, y según el DANE aún requiere extender la cobertura del servicio de acueducto que no llega a 3,6 millones de personas y de alcantarillado para cubrir a 5,6 millones de colombianos que no lo tienen.

Mientras en nuestro departamento se daba la protesta social por los incrementos exagerados en las tarifas de agua impuestos a los usuarios de Empocaldas por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico como entidad del orden nacional, al tiempo que la Corte Constitucional reitera mediante jurisprudencia que es obligación del Estado garantizar la prestación del servicio de agua potable, también se instalaba el primer esquema de pilas públicas en Maicao como parte de un mejoramiento del servicio de agua y alcantarillado para la Guajira, y se anunciaba una reducción del 9% de la deforestación en la Región Andina.

Si en 2010 las Naciones Unidas reconocieron “el derecho al agua potable”, dicho derecho que no quedó consagró en nuestra Constitución Política, así los Artículos 334, 336, y 365, a 370 se ocupen del tema, aparece fragmentado en la legislación: por ejemplo en la Ley 142 de 1994 sobre servicios públicos domiciliario cuando prioriza el agua potable y el saneamiento básico entre las necesidades básicas que deben satisfacerse, o cuando la Ley 60 de 1993 fija las competencias de los municipios y obliga al uso de los recursos de la Nación que trata el Artículo 357 de la Constitución, en inversión para proveer servicios de agua potable y saneamiento básico y otorgar subsidios a sectores sociales vulnerables.

Hechas las anteriores consideraciones, máxime ahora cuando el cambio climático se anuncia con una reducción del 22% de nuestros glaciares durante la última década, veamos el tema del agua en Colombia, donde según el Estudio Nacional del Agua -ENA 2018-, tenemos grandes desafíos ya que por conocimiento insuficiente el 71% de los acuíferos no pueden aprovecharse, 391 cabeceras incluidas 9 capitales del país y 11 municipios de Caldas presentan alta susceptibilidad al desabastecimiento en temporadas secas de El Niño, el 70% de ellas en la cuenca Magdalena-Cauca y el 22% en la región Caribe.

Al valorar la oferta hídrica superficial del país en un año medio según dicho estudio, mientras el 77,4% del volumen se concentra en las regiones Pacífico, de la Amazonia Pacífico y de la Orinoquia que son las más despobladas, el 13,5% le corresponde a la región Magdalena-Cauca y el 9,1% a la del Caribe que concentran el 80% de la población del país. Y en cuanto a la demanda de agua, donde el 15 % proviene de las aguas subterráneas, el sector agrícola representa el 33% del total y el hidroenergético el 12,8%.

Y en cuanto a la contaminación, la carga orgánica biodegradable (DBO5) vertida a los sistemas hídricos que en 2012 se estimó en 2.102 t/día, en su mayoría provino del sector doméstico (69%) seguido del industrial (28%), el 80% fue aportada por 55 municipios; y de la carga total vertida de demanda química de oxígeno (DQO) estimada en 4.654 t/día de sustancias provenientes en su mayoría del sector doméstico (61%) e industrial (37%), el 85% se generó en 53 municipios.

Finalmente, en cuanto a sedimentos los departamentos con mayor potencial a la erosión hídrica, son: Antioquia, Santander, Boyacá, Cundinamarca, Caldas, Risaralda, Quindío, Chocó, Tolima, Cauca y Nariño. Cada año en Colombia son transportados en promedio cerca de 300 millones de toneladas, siendo el río Magdalena el mayor aportante; esto dado que, de la superficie continental del país, el 40% presenta algún grado de erosión, el 3% erosión muy severa a severa, el 17% erosión moderada y el 20% erosión ligera, según el IDEAM.

[Ref.: La Patria- Manizales, 2019.03.25]

### Lecturas complementarias N°10:

<p><u><i>El camino a las estrellas.</i></u></p> <p><u><i>El desarrollo urbano y económico de Manizales.</i></u></p> <p><u><i>El Río Grande en la Audiencia Ambiental Caribe de la PGN 2020.</i></u></p> <p><u><i>Ferrocarril Cafetero: un tren andino para integrar el territorio.</i></u></p> <p><u><i>Arroyo Bruno, entre la muerte negra y la vida wayuu.</i></u></p> <p><u><i>Bioturismo y ruralidad en la Ecorregión Cafetera.</i></u></p> <p><u><i>Bioturismo y adaptación ambiental para la Ecorregión Cafetera.</i></u></p> <p><u><i>Bosques en la cultura del agua.</i></u></p> <p><u><i>Cambio climático y sustentabilidad del territorio.</i></u></p> <p><u><i>Ciencia, tecnología y ruralidad en el POT de Caldas.</i></u></p>	<p><u><i>Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica.</i></u></p> <p><u><i>Riesgo Sísmico: los terremotos y el caso de Colombia.</i></u></p> <p><u><i>Río Blanco, cuna de vida...</i></u></p> <p><u><i>Samoga en el Territorio de la Ecorregión Cafetera de Colombia.</i></u></p> <p><u><i>Sismo, bahareque y laderas.</i></u></p> <p><u><i>Tiempo y Calendarios.</i></u></p> <p><u><i>Tres décadas del Hubble.</i></u></p> <p><u><i>Sistematización de Experiencias de los PAI del Guarinó.</i></u></p>	<p><u><i>Introducción a la economía del transporte.</i></u></p> <p><u><i>Introducción a la teoría económica. Ingeniería, incertidumbre y ética.</i></u></p> <p><u><i>La economía azul en la esfera de la producción.</i></u></p> <p><u><i>La economía en la era del conocimiento.</i></u></p> <p><u><i>La Unión Europea frente al desafío del siglo XXI.</i></u></p> <p><u><i>Las nuevas rutas de la seda y el viraje geopolítico.</i></u></p> <p><u><i>Latinoamérica en crisis.</i></u></p> <p><u><i>Los peajes en Colombia están sobreutilizados.</i></u></p> <p><u><i>Manizales: El futuro de la ciudad.</i></u></p> <p><u><i>Mecánica Planetaria.</i></u></p>
--	--	---

...

UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
COLOMBIA (1867-2017)



**GUÍA ASTRONÓMICA**

Gonzalo Duque-Escobar

**MANIZALES, 2020**

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3252>

Anexo 1: Colombia tropical: ¿y el agua qué?.	Anexo 12: La Luna
.	.
Anexo 2: Calentamiento global en Colombia	Anexo 13: Cultura y Astronomía (C&A)
.	.
Anexo 3: Aspectos geofísicos y amenazas naturales en los Andes de Colombia.	Anexo 14: Astronomía en La Edad Media y el Renacimiento.
.	.
Anexo 4: El camino a las estrellas.	Anexo 15: Sol, lunas y planetas.
.	.
Anexo 5: Isaac Newton	Anexo 16: Manual de geología para ingenieros
.	.
Anexo 6: Albert Einstein.	Anexo 17: Riesgo sísmico: los terremotos.
Anexo 7: Stephen Hawking	Anexo 18: CTS, Economía y Territorio.
Anexo 8: Geotecnia para el trópico andino.	Anexo 19: Cultura y Turismo en Caldas.
Anexo 9: Preservación Ambiental e Hídrica del Paisaje Cultural Cafetero.	Anexo.20: El Río Cauca y el desarrollo de la región.
Anexo 10: Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial.	Anexo 21: Videos: Temas de Astronomía y Medio Ambiente.
Anexo 11: Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia.	Anexo.22: UMBRA: la Ecorregión Cafetera en los Mundos de Samoga.
Enlaces U.N.: Textos “verdes”	<b>El Autor: Gonzalo Duque-Escobar</b>

**HOME:**

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3252>

CONTENIDO: PRESENTACIÓN. GUÍA Nº 1. HISTORIA DE LA ASTRONOMÍA. GUÍA Nº 2. COORDENADAS ASTRONOMICAS. GUÍA Nº 3. ELEMENTOS DE MECÁNICA PLANETARIA. GUÍA Nº 4. TIEMPO Y CALENDARIOS. GUÍA Nº 5. EL SISTEMA SOLAR. GUÍA Nº 6. SOL, LUNAS Y PLANETAS. GUÍA Nº 7. COSMOGRAFÍA. GUÍA Nº 8. ELEMENTOS DE ASTROFÍSICA. GUÍA Nº 9. LAS ESTRELLAS. GUÍA Nº 10. LAS GALAXIAS. GUÍA Nº 11. EL UNIVERSO. GUÍA Nº 12. TEORÍAS COSMOGÓNICAS. GUÍA Nº 13. ASTRONOMÍA EN COLOMBIA. BIBLIOGRAFÍA

**A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.**







UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
COLOMBIA (1867-2017)



GUÍA ASTRONÓMICA

Gonzalo Duque-Escobar

GUÍA N° 11

EL UNIVERSO

Panorámica de la Nebulosa de Orión. Sel.noaa.gov

## 11.1. INSTRUMENTOS PARA OBSERVAR ASTROS

Supuesta la inmensa distancia que nos separa de los cuerpos celestes, **el ojo humano** es un instrumento insuficiente para proporcionarnos una visión detallada del Universo. Por ello resulta prodigioso que el hombre, antes de la invención del telescopio, llegara a medir con gran exactitud los movimientos de los astros, calcular los eclipses, intuir la estructura del sistema solar y a determinar las leyes que rigen sus órbitas.

### 11.1.1 Telescopios

Pero fue a partir de la invención del telescopio, a comienzos del siglo XVII, cuando el observador del cielo encontró el instrumento capaz de acercarle los astros, y cuando la ciencia del cielo progresó con rapidez.

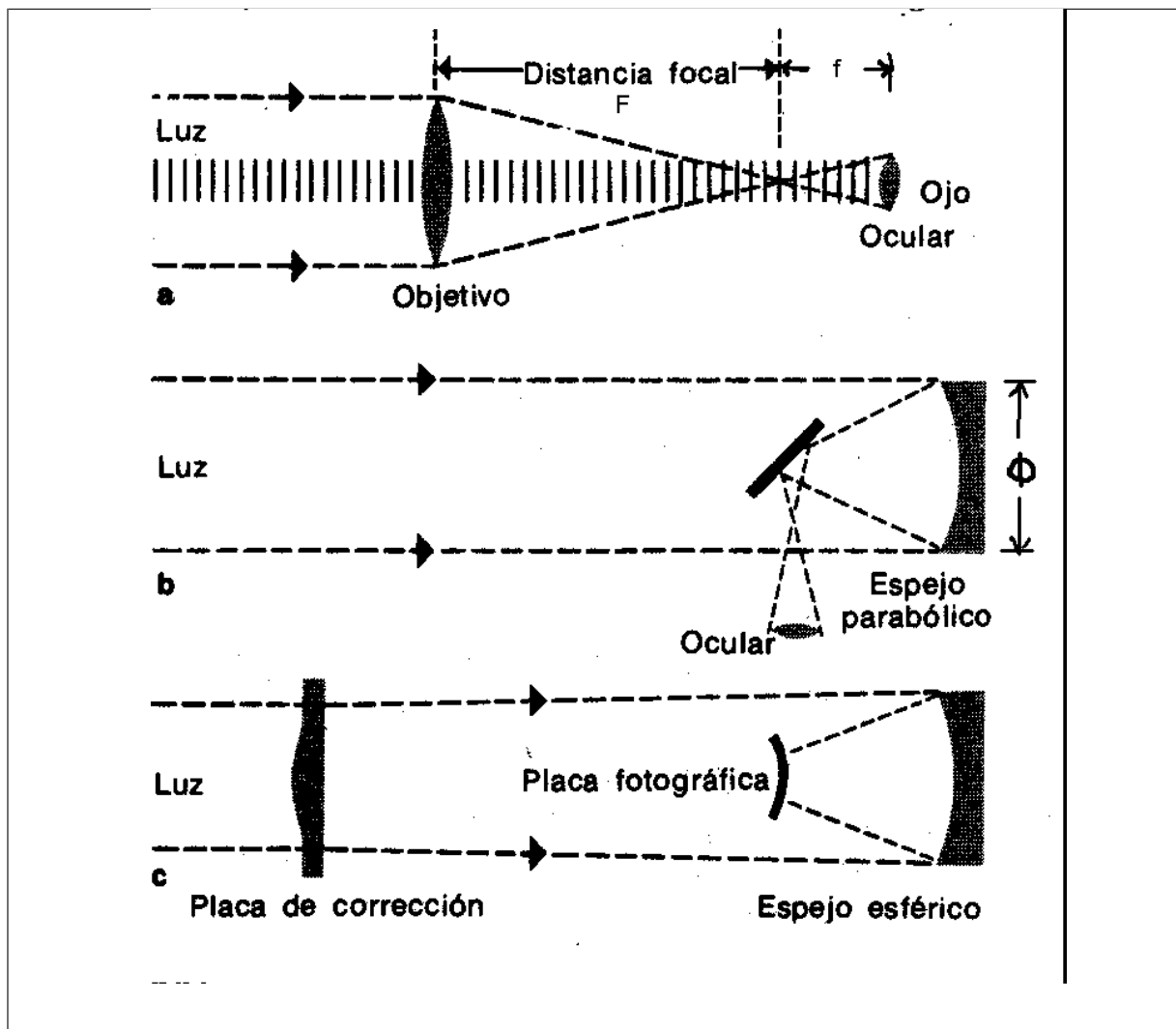


Figura 11.1A. Principales clases de telescopios: arriba, Telescopio de Galileo o refractor (objetivo de lente); centro, Telescopio de Newton o reflector (espejo parabólico); abajo, cámara de Schmidt, espejo de gran campo de visión, gracias a la placa de corrección y a la lente de curvatura esférica. Fuente: Diccionario Rioduero. Física del Espacio.

Un telescopio astronómico puede ser, fundamentalmente, de dos tipos: de lente (**refractor**) o de espejo (**reflector**). El primero está formado por una gran lente (objetivo), que recibe la luz de cualquier objeto luminoso y concentra su imagen en un punto (el foco), situado a determinada distancia  $F$  -la existente entre el centro óptico de la lente y el punto en el cual se forma la imagen de un objeto muy alejado- una segunda lente, mucho menor, amplía los detalles de la imagen formada por el **objetivo**; aunque simples, son limitados para observar objetos débiles y pequeños. Y el segundo, el reflector, donde el objetivo no es una lente, sino un espejo cóncavo, que concentra la imagen en un punto focal; antes del cual incide sobre un espejo girado 45 grados para ser desviada a un costado donde se ubica el **ocular**, que siempre es una lente que amplía esta imagen.

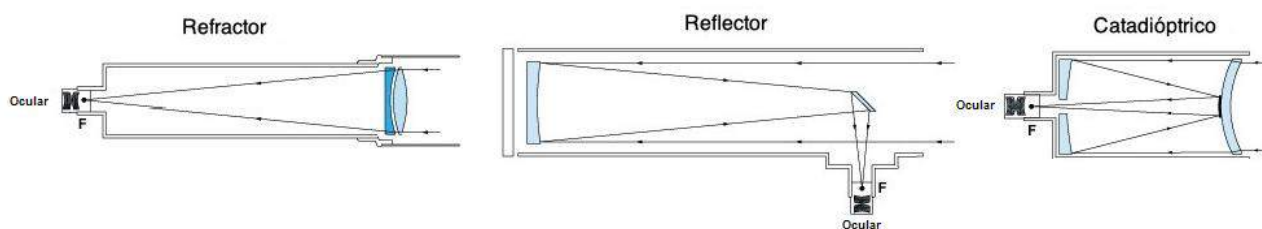


Figura 11. 1B. Clases de telescopios ópticos; refractor, Reflector y Catadióptrico. [www.xataka.com](http://www.xataka.com)

También existe el telescopio catadióptrico que al combinar lentes y espejos, al resultar más compacto y de menor peso, puede ser de buena potencia y eficiente: allí la luz que al pasar una placa correctora (con lo cual pierde luz), y ser reflejada por el espejo primario hacia un espejo secundario en forma de menisco, regresa al ocular ubicado en la parte trasera, tal cual ocurre con el refractor.

Cabe destacar que cuanto mayor es el objetivo (lente o espejo), más luminosa y mejor definida es la imagen; cuanto más larga es la distancia focal  $F$ , mayor es el aumento, pero menor la luminosidad. Lo mismo ocurre con los oculares: un ocular amplio, da una imagen muy luminosa pero poco aumentada; un ocular de foco corto proporciona grandes aumentos, pero la imagen es más oscura y menos nítida.

Si la distancia focal del objetivo es  $F$  y la del ocular  $f$ , y si el diámetro del objetivo es  $\phi$ , entonces la capacidad de un telescopio depende de **dos parámetros**: de los aumentos  $A$  y de la razón focal  $R$ .

Los aumentos son  $A = F/f$

La razón focal es  $R = F/\phi$

Si un telescopio de lente presenta valores de  $F=900$  mm y  $\phi = 60$  mm, y posee dos oculares, uno de  $f=22,5$ mm y otro de 45 mm, el largo del tubo debe ser cercano al metro y su lente es de 6 cm. La Razón focal es  $R = 900/60$  es decir  $R=15$  y los aumentos dependerán del ocular que se utilice: para el primero,  $A= 900/22,5 = 40X$  y para el segundo ocular,  $A = 900/45 = 20X$  .

Con el primero se observarán imágenes más grandes y con el segundo imágenes más luminosas. Además el máximo aumento para observación terrestre, es el resultado de multiplicar por 13 el número de centímetros del diámetro del objetivo, o por 26 si es para observar imágenes luminosas y bien contrastadas. Para el caso anterior, el máximo valor de los aumentos es  $A = 13 \times 6 = 78X$  (que se lee 78 veces) o el doble de aumentos, si es para imágenes bien contrastadas.

**Montajes de telescopios:** la función del montaje del telescopio es doble. Primero, debe mantener firmemente fijo el telescopio en todas las condiciones, para que la imagen grandemente ampliada pueda contemplarse y fotografiarse. En segundo lugar, tiene que haber un medio sencillo de mover el telescopio, de modo que éste pueda seguir a la estrella en su movimiento aparente a través del firmamento, debido a la rotación de la Tierra.

**Montaje altacimutal:** es el más simple, para medir la altura de los cuerpos celestes. El telescopio va montado sobre dos ejes, uno vertical y otro horizontal. Alrededor del segundo, el telescopio da vueltas de campana. La rotación del telescopio alrededor de su **eje vertical**, se realizará barriendo el acimut en el horizonte, para permitir levantar y bajar el telescopio de altura, entre el cenit y el nadir. Sistema similar al del teodolito.

Montaje **ecuatorial**: si movemos el eje vertical hasta que sea paralelo al eje de la Tierra y lo fijamos en ese ángulo, bastará la rotación del telescopio alrededor de este eje (el eje polar), para permitir al observador seguir esa estrella. Hecho este basculamiento, el que antes era el círculo horizontal, se transformará en un círculo paralelo al ecuador de la Tierra. Generalmente, el montaje lleva acoplado un motor para hacer girar el telescopio alrededor del **eje polar** a la velocidad exacta de la rotación de la Tierra, para eliminar el movimiento aparente de las estrellas. Se puede disponer también de relojes solares y lunares, a fin de sostener ambos astros en la visual.

**Radiotelescopios**: antenas que actúan como espejos parabólicos, cuya curvatura es de la forma  $Y = x^2/F$ . La superficie reflectante reúne las ondas de radio en el foco, igual que un espejo óptico. Un dipolo o una antena de bocina, recoge allí la radiación y la envía al **amplificador** del telescopio. Estos aparatos, destinados a captar radiaciones de grandes longitudes de onda a menudo se construyen de malla de alambre.

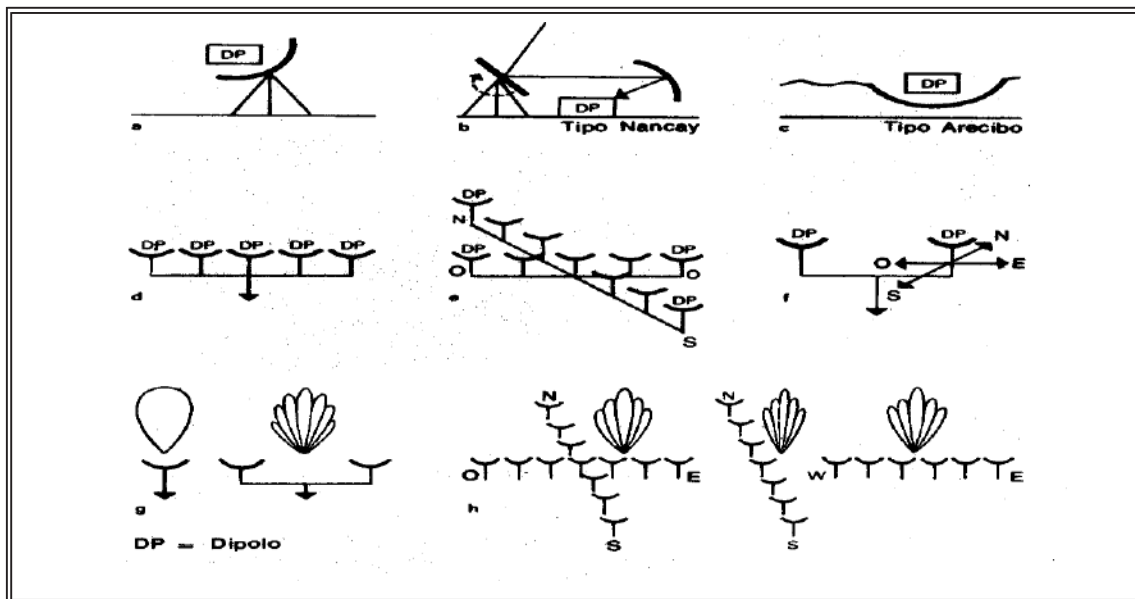


Figura 11.2. Radiotelescopios: radio telescopios de pantalla parabólica con antena (dipolo) en el foco, o como sistemas de antenas, que puede conformar un interferómetro para aumentar su poder de separación. Fuente: Diccionario Rioduero. Física del Espacio.

**Radio-interferómetro:** instrumento que mejora el poder de resolución de las radioantenas. Consiste en dos (o más) radiotelescopios, situados a la mayor distancia posible entre sí. Ambos instrumentos van conectados a un receptor. Al pasar una radiofuente por el meridiano, las ondas reflejadas por ambos espejos crean, por interferencia, una serie de reforzamientos y extinciones en el receptor, que permiten localizar una radiofuente, con una exactitud que supera la de un sólo espejo.

En la figura anterior, se muestran las configuraciones de varios instrumentos, así:

- a, de espejo parabólico, diámetro hasta 100m, buena sensibilidad pero demanda buena superficie para separar.
- b y c, instrumentos de paso con 1 o 2 antenas reflectantes, diámetro en Arecibo 305m. Una bandeja esférica o dos antenas reflectantes
- d, redes de difracción lineales, la base puede extenderse entre continentes. Gran poder de separación.
- e, Rejilla de alambres en cruz. c/u 1600m. Gran poder de separación y poca sensibilidad.
- f, Apertura Synthesis, dos pequeñas antenas conectadas que se desplazan sobre un riel. gran poder de separación y tiempo largo de observación.
- g y h, interferómetros con antena individual (baja separación) y con doble antena (alta separación).

Los potentes telescopios, **Cerro Tololo** en Chile (4m), **Herschel** en las Canarias, (4.2m), **Hale** de Monte Palomar en Pasadena (5 m), el de **Zelentchukskaia** en el Cáucaso (6 m) y el **Keck** del Mauna Kea en Hawai (10 m), parecen insuficientes, aunque existan los grandes radiotelescopios, como el de **Arecibo** en Puerto Rico (305 m) y el del **Cáucaso** en la ex URSS (600 m). Ya se procura el envío de sondas al espacio (Voyager, Viking, Venera, etc.), y aún el de telescopios que superen la barrera de la atmósfera, como el telescopio **Hubble** de 2 metros de diámetro y 12 de longitud, pretendiendo alcanzar, desde una órbita de

600 km de altura, el tejido de expansión del Universo, con un alcance de 12500 millones de años luz, y cuyo nombre hace honor al más grande astrónomo del siglo. El Hubble se ubica en órbita fuera de la atmósfera terrestre, para evitar que las imágenes sean distorsionadas por la refracción. En 2004, aparece el Very Large Telescope (VLT), compuesto por cuatro telescopios 8 m de diámetro, perteneciente al Observatorio Europeo del Sur, e instalado en el Desierto de Atacama, Chile. Finalmente, el espejo individual más grande en la actualidad, es el del Gran Telescopio Canarias inaugurado en 2009, cuyo diámetro alcanza 10,4 metros, instrumento óptico que a su vez se compone de 36 segmentos hexagonales de 1,9 metros.

El telescopio espacial, el Large Synoptic Survey Telescope (LSST), una nueva generación de telescopio espacial de 8.4 metros, prevista para el segundo lustro del siglo, alcanzará la magnitud 24 en unos 10 seg de exposición, gracias a una cámara CCD de 2,3 Giga píxeles de 10 micrones.

La **Estación Espacial Internacional** ISS orbitando a 26 mil km/h entre 355 y 460 a 401 Km de altura, es el ingenio humano que sucede a la MIR para el soporte de operaciones científicas en misiones de larga duración y un punto de salida de multitud de señales de radio y TV. Lanzada en nov de 1998 puede ser observada a simple vista y a primera hora de la noche y al amanecer, desde gran parte de la Tierra. Al año 2005 se tenía previsto realizar cerca de 45 viajes y 91 paseos espaciales, para completar la estación orbital. La inclinación de la órbita es de  $51.6^0$ , el período orbital, 90 min y las dimensiones al finalizar la tercera y última fase, 108 m por 74 m y 415 ton.

Como proyectos en curso, sobresale el Telescopio Gigante de Magallanes del Instituto Carnegie, a ubicarse en la Región de Atacama, Chile. Se trata de un reflector compuesto por siete segmentos primarios de 8,4 metros de diámetro, equivalentes a un sistema óptico de 25,4 metros de diámetro y 18 metros de distancia focal, que operará como Óptico e infrarrojo cercano, a partir del 2021.

El Telescopio Gigante de Magallanes (TGM o GMT en inglés) es un proyecto de telescopio terrestre de grandes dimensiones planeado para completarse en 2020. Se compondrá de siete segmentos primarios de 8,4 metros de diámetro, con el poder de resolución de un espejo primario de 24,5 metros de diámetro y la superficie de recolección de 22 metros. Se espera que tenga más de 5-10 veces la capacidad de captación de luz de los instrumentos existentes. Ya se han producido cuatro de los siete espejos y la cima de la montaña está preparada para la construcción. El astrónomo jefe encargado del proyecto es Mark M. Phillips.

### 11.1.2 Espectros

**El espectro electromagnético:** la energía radiante se propaga por ondas electromagnéticas a la velocidad de la luz ( $c = 300.000$  kilómetros por segundo). Se denomina espectro electromagnético a la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas.

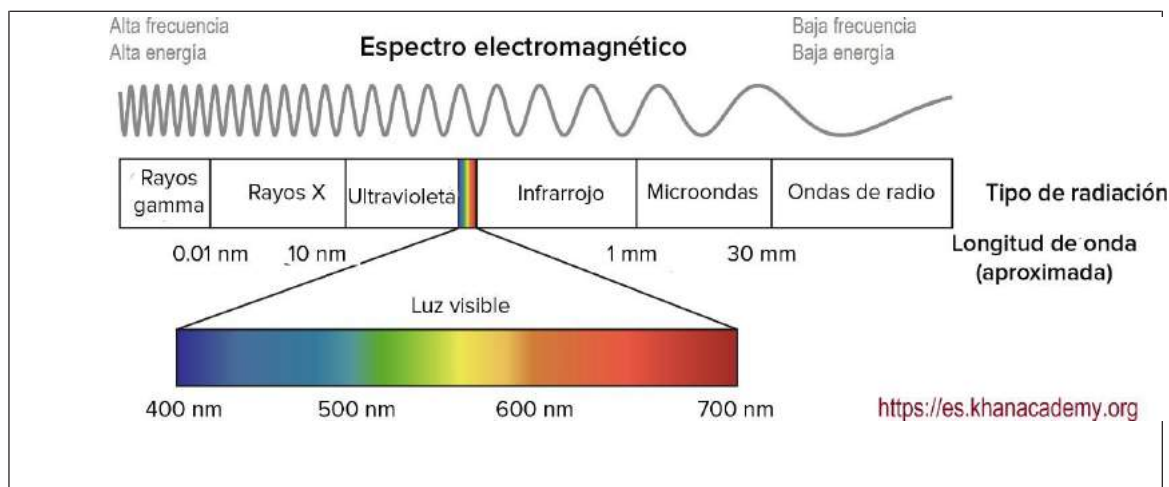


Figura 11.3. Espectro electromagnético: energía radiante desde la radiación gamma hasta las ondas de radar. Abajo, la luz blanca se descompone en un conjunto de colores llamados primarios (azul, amarillo y rojo); el verde es la combinación de los dos primeros y el naranja de los dos últimos. Fuente: <https://es.khanacademy.org>



**El espectro visible:** cuando la luz atraviesa un medio de densidad variable o pasa de un medio a otro de diferente densidad (por ejemplo, del aire caliente al frío, o del aire al agua, o del agua a un cristal), se altera la velocidad del rayo de luz y el rayo se dobla o se refracta. Bajo ciertas condiciones esto resulta en un **desdoblamiento** del rayo de luz blanca en bandas de colores, - rojo, naranja, amarillo, verde, azul, morado y violeta-.

**El arco iris** es el resultado de unos de estos acontecimientos: un observador, de pie y de espaldas al Sol, que contemple una lluvia, ve el arco formado por la luz que atraviesa las gotas individuales de lluvia, donde se refracta, se disocia y se refleja hacia su ojo.

El arco común o primario, rojo en la cara externa y violeta en la interna, se forma en las gotas de lluvia situadas en ángulo de aproximadamente  $24^\circ$  respecto a una línea imaginaria, que va del Sol a un punto del suelo delante del observador y que atraviesa el ojo de éste -un punto que es también el centro del arco-. Si el Sol está muy cerca del horizonte, el arco formará un semicírculo y cuanto más alto está el Sol en el cielo, tanto más plano será el arco, de tal manera que superando el Sol los  $42^\circ$  sobre el horizonte, no se verá arco iris alguno.

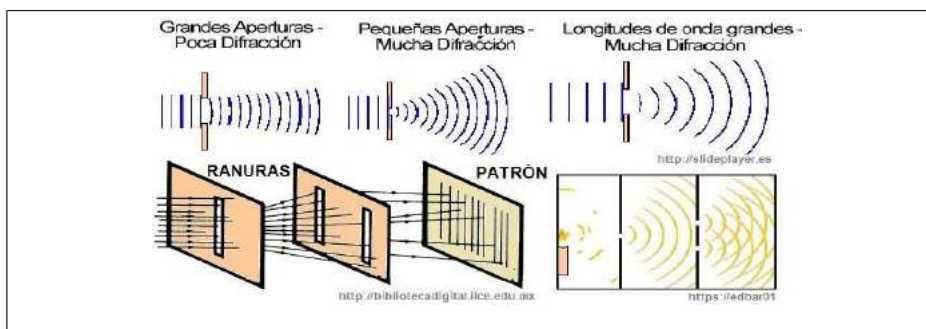


Figura 11.4. Difracción de la luz: la óptica geométrica predice incorrectamente la “sombra” de una ranura. La luz, como el sonido, tiene características de onda. Estos efectos se describen como difracción. Créditos: slideplayer.es, ilce.edu.mx y edbar01.wordpress.com

**11.1.3. Líneas espectrales.** Con el análisis del espectro de la energía radiante se puede conocer la temperatura, composición y velocidad radial de los objetos celestes. El calor informa de la temperatura. Los rayos espectrales oscuros o brillantes de los elementos y el desplazamiento del espectro, hacia el IR o el UV, de la velocidad según el efecto Doppler.

**Espectro continuo:** producido por cuerpos incandescentes sólidos o líquidos, así como por los gases a muy alta presión y gran temperatura, dan un espectro continuo sin rayas.

**Espectro de emisión:** los gases luminiscentes, a presiones o temperaturas más bajas, muestran rayas de emisión, claras e individualizadas. Cada elemento químico emite su propia serie de rayas. El espectro luminoso de cualquier gas, revela su composición química.

**Espectro de absorción:** si la luz de cualquier cuerpo -que de suyo daría un espectro continuo- atraviesa un gas a menor temperatura, aparece sobre el continuo una serie de rayas oscuras (rayas de absorción o de Fraunhofer), precisamente en aquellas longitudes de onda para las que el gas, radiante él sólo, habría generado rayas de emisión. Esto vale para la mayoría de las estrellas y para el Sol, donde los rayos luminosos que provienen de zonas más profundas atraviesan capas externas frías y generan allí las rayas de Fraunhofer. Joseph von Fraunhofer fue un astrónomo, óptico y físico alemán, reconocido por inventar el espectroscopio y por ser uno de los fundadores de la espectrometría como disciplina científica.

En el interior de las estrellas, donde reinan presiones y temperaturas muy altas, abundan los electrones libres. Como las órbitas a las que saltan los electrones son muy diversas, el espectro es en principio continuo. Aparte del hidrógeno están también otros elementos más pesados y complejos, pero el principio es el mismo.

En las capas más externas y frías de la estrella los átomos de hidrógeno, por ejemplo, toman aquellas cantidades de energía que necesitan para excitar sus electrones (para elevarlos por ejemplo, de la órbita 2 a la 3). De esta manera se forma una raya de absorción.

Según la Ley de Planck los objetos fríos emiten más el IR (infrarrojo) y los objetos calientes emiten más el UV (ultravioleta). Tan importante es la ecuación  $E = hf$ , donde  $h$  es la constante de Planck y  $f$  la frecuencia, como la ecuación de Einstein que alude a la misma magnitud:  $E = mc^2$ .

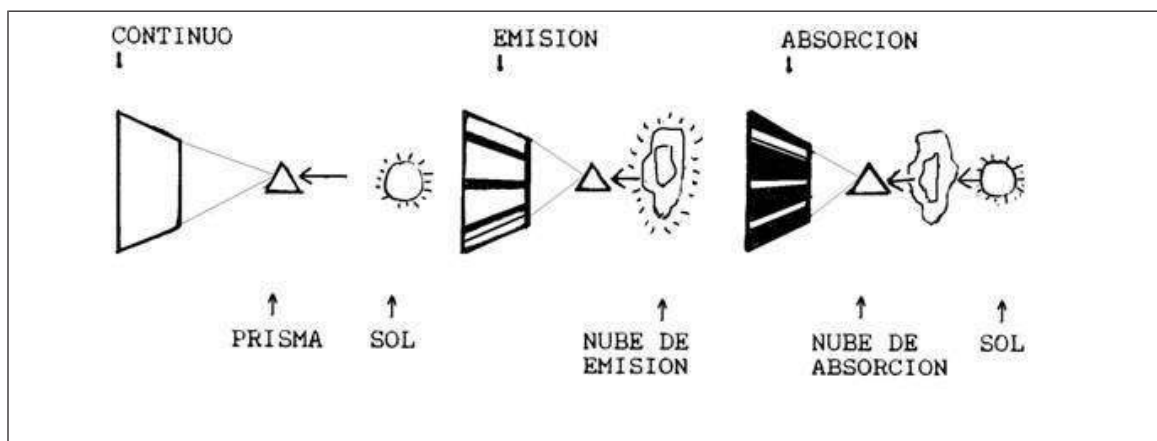


Figura 11.5. Tipos de espectros, según la fuente luminosa: de esta manera se ponen en evidencia e identifican sustancias gaseosas en las nubes interestelares.

Se entiende por radiación de un cuerpo negro la radiación electromagnética emitida por un cuerpo negro ideal. Es la cantidad máxima teórica de energía radiante de todas las longitudes de onda, emitida por un **cuerpo negro** a una temperatura determinada.

## 11.2. EFECTO DOPPLER.

Supongamos un satélite enviando una señal luminosa. El efecto para un receptor inmóvil es similar al que se estudia en la acústica, que escucha el sonido, con una alta frecuencia cuando la fuente se acerca y con una baja frecuencia cuando ella se aleja.

Volviendo a la fuente luminosa en movimiento, si la frecuencia de emisión  $f_E$  es constante ( $\Delta t$  no varía), la frecuencia de recepción si varía: en 1 es más alta y en 2 es más baja. Las frecuencias recibidas  $f_R$  se modifican así: las distancias recorridas por el haz luminoso,  $A$  y  $a$  son crecientes cuando la fuente se acerca por la izquierda al observador, con lo cual  $f_R'$  mayor que  $f_E$  (en aproximación). Después de pasar el satélite, sobre el observador, empezará a irse, de tal manera, que las distancias a la fuente como  $B$  y  $b$  se harán cada vez más largas; con ello la  $f_R''$  será menor que la  $f_E$  (en alejamiento).

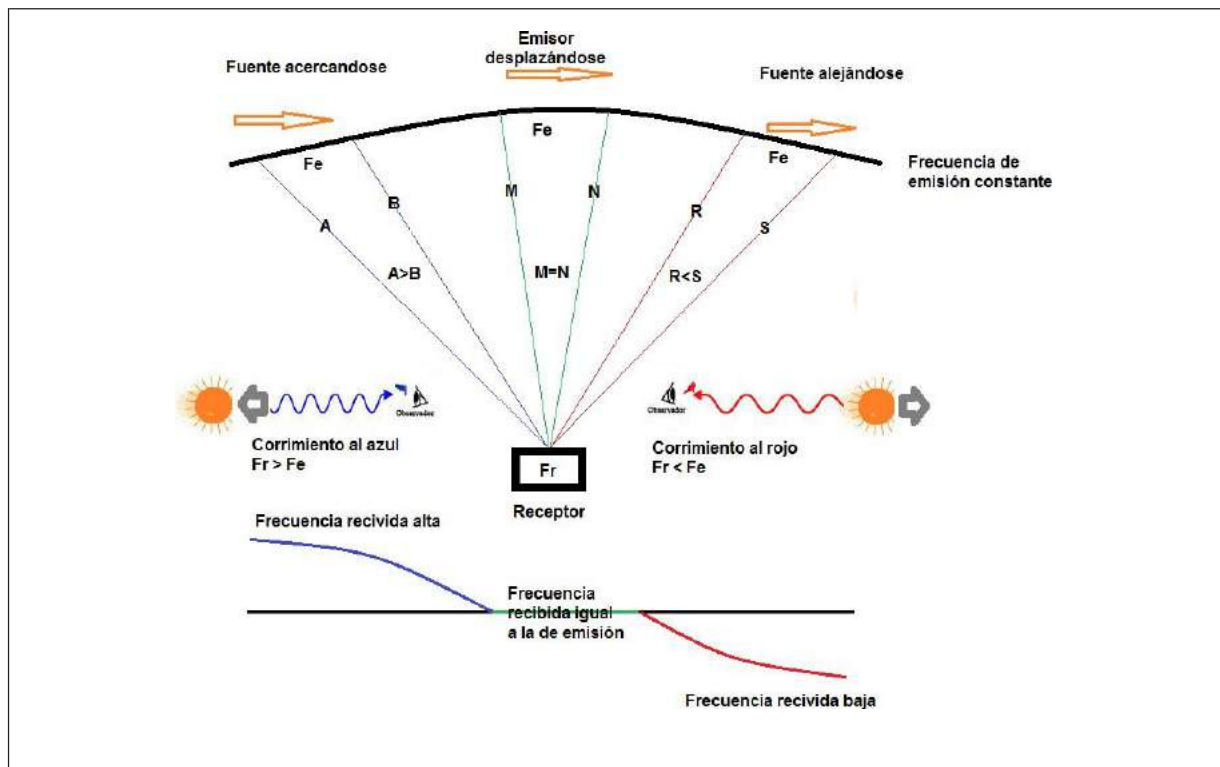


Figura 11.6. Efecto Doppler de una fuente luminosa: Satélite en movimiento que envía una señal luminosa a un receptor fijo  $R$ . Con  $\Delta t$  se señala el intervalo de tiempo entre pulsos de señales consecutivas. El inverso de  $\Delta t$  es la frecuencia.

Sobra subrayar que la velocidad de la señal es constante al recorrer cualquier distancia entre la fuente y el receptor; en el caso  $c$ .

#### - Cálculo de la velocidad de una estrella

Velocidad espacial de una estrella E vista desde la Tierra T: el vector de velocidad espacial,  $V_e$ , tiene dos componentes con relación a la visual del observador. Una en su dirección,  $V_R$ , y otra normal a ella,  $V_t$ . Se puede conocer la magnitud de la velocidad espacial o total  $V_e$ , si medimos las velocidades tangencial  $V_t$  y radial  $V_R$ . Aplicando Pitágoras:

$$V_e = (V_t^2 + V_R^2)^{1/2}$$

$V_R$  se puede conocer por el desplazamiento del espectro al infrarrojo (rojo) o al violeta (azul), según el **efecto Doppler**.

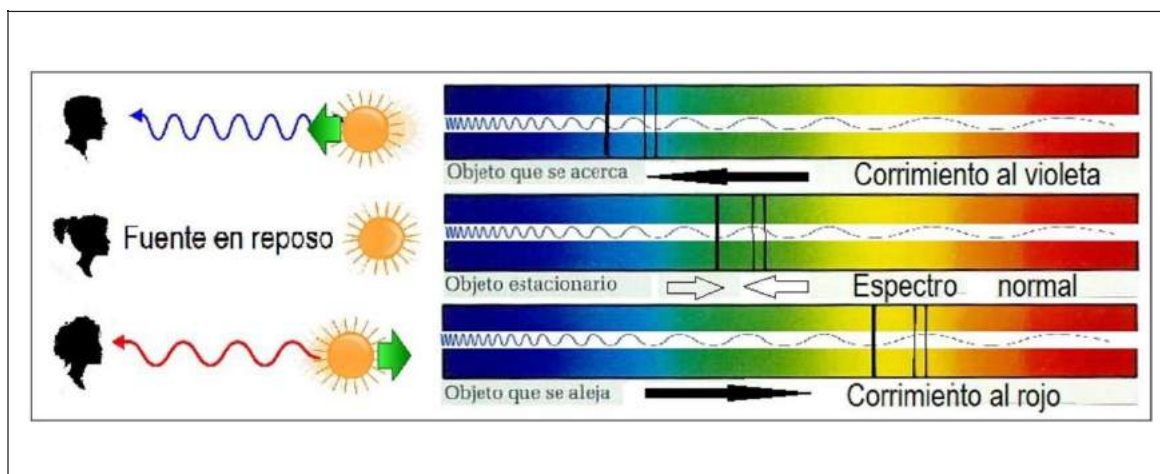


Figura 11.7. Corrimiento al rojo y al violeta: las líneas espectrales ponen en evidencia la magnitud y dirección de la velocidad radial de un astro. El espectro del centro no muestra corrimiento radial, el superior acercamiento de la fuente y el inferior su alejamiento.

Si un astro se aleja el espectro se corre al rojo, la magnitud del corrimiento depende de la magnitud de la velocidad radial  $V_R$ . Si un astro se acerca el espectro se corre al azul, a mayor velocidad radial  $V_R$ , mayor corrimiento de las líneas espectrales. La velocidad tangencial,  $V_t$  se conoce comparando fotografías de épocas diferentes que muestran el corrimiento angular de la estrella E, respecto a las estrellas lejanas. Para este cálculo se debe conocer la distancia de la Tierra a la estrella TE, que se obtiene por el método de la paralaje.

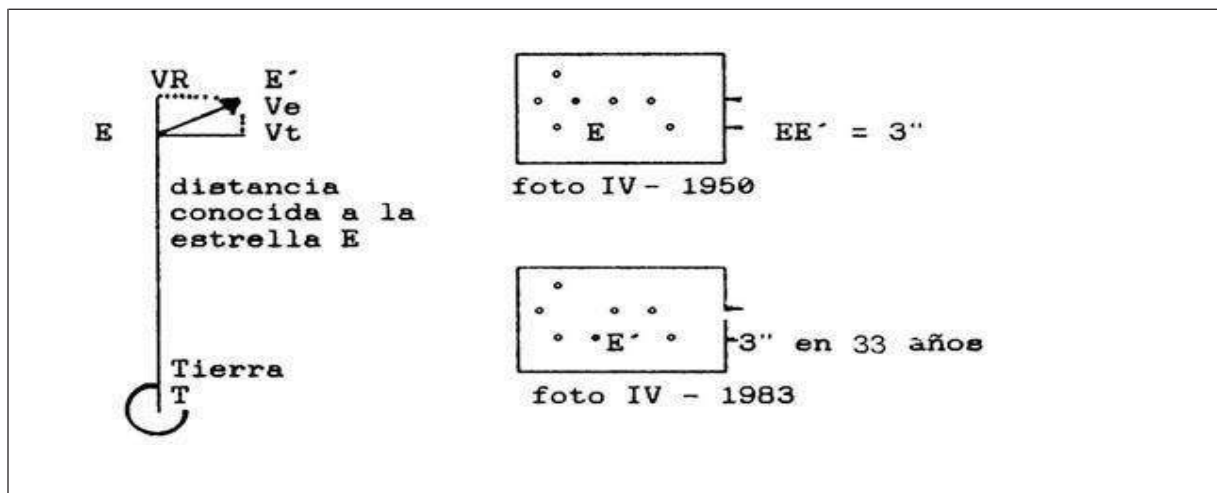


Figura 11.8. Velocidad tangencial de una estrella: .Obtenido por el cambio en la posición de una estrella cercana, con relación a las estrellas de fondo, al cabo de 33 años. La observación debe hacerse el mismo mes del año, para prevenir la paralaje.

### 11.3. ESTRUCTURA DEL UNIVERSO OBSERVABLE

Halley (1656-1742), concebía un Universo **eterno e infinito**; como prueba de ello se tenía, que al observar los astros "firmes" en el cielo, no era posible señalar punto alguno sobre el cual estuviese colapsando la materia. Tal colapso sería factible, si el Universo (inicialmente estático y extendido) tuviera límite o si la materia no estuviese distribuida homogéneamente en toda la extensión del espacio infinito.

Veamos:

Si el Universo tiene una densidad de masa  $\rho$ , una masa total  $M$  y un radio  $R$  infinito, la fuerza gravitacional (para un modelo esférico), estará dada por:

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

$$F = -G \times \frac{4}{3}\pi q R$$

Siendo  $q > 0$ ,  $R \rightarrow \infty$ , y  $G$  la constante gravitacional, tenemos:

$$F = \infty$$

El valor infinito de  $F$  supone un tirón suficiente para colapsar el Universo, siempre y cuando no muestre una jerarquía en la distribución de masa, como se verá, cuando

$$q = \frac{a}{R}$$

Si:

$$q = \frac{a}{R} \text{ y } M = 4\pi \int_0^R \frac{a}{R} r^2 dr$$

Tenemos:

$$M = \frac{4}{3}\pi \frac{a}{R} (R^3) = \frac{4}{3}\pi a R^2$$

Luego: para  $R$  infinito, como  $M = 0$  y  $q = 0$ , se evita el colapso.

### 11.3.1 La Paradoja de Olbers (1823)

Existe una contradicción denominada **Paradoja de Olbers**: si el Universo es infinito y la densidad de estrellas es uniforme "no debe existir noche, pero la noche existe".

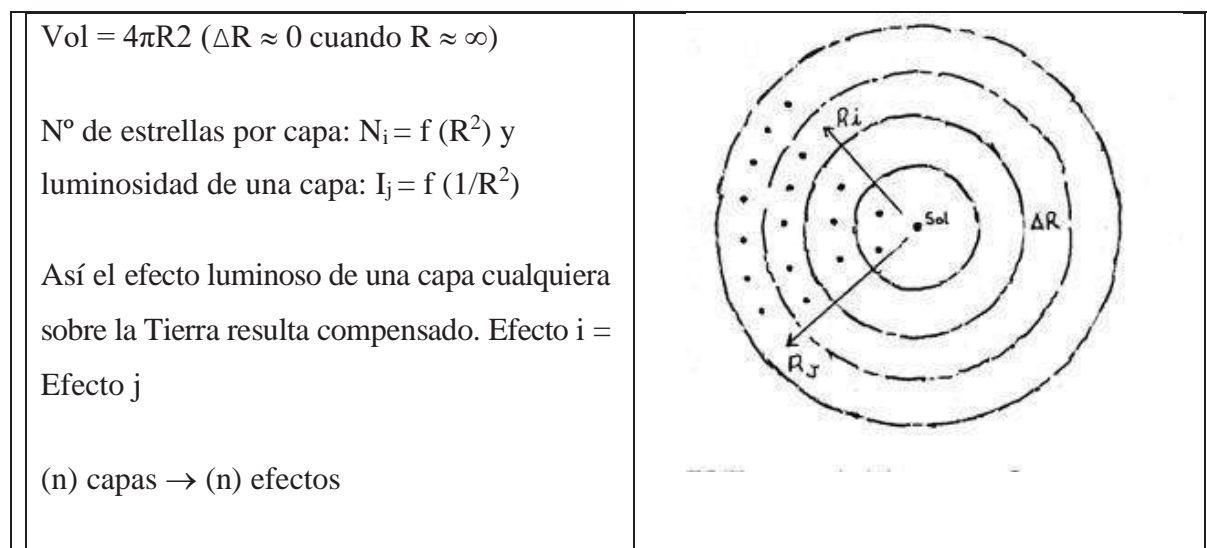


Figura 11.9. El modelo de Universo para Olbers: separación de un Universo infinito, en capas esféricas concéntricas con la Tierra, de radio variable en  $\Delta R$ .

Luego, si a una distancia  $R$  medida desde la Tierra, el número de estrellas para una capa se compensa con la intensidad de la luz emitida por ellas, el efecto luminoso de cualquiera de las capas, es el mismo sobre la Tierra. Supone ello que las infinitas capas se pueden reemplazar por el efecto de infinitas estrellas equivalentes en la capa primera, con lo cual la Tierra se debe incinerar.

La solución a la paradoja se da porque el Universo no es infinito y porque las capas lejanas hacen menor efecto luminoso que las capas cercanas sobre la Tierra, debido a la expansión relativa del Universo (efecto Doppler).



Como fundamento de lo anterior, la intensidad de energía radiante varía con el inverso del cuadrado de la distancia, tal cual lo señala Kepler en su obra de 1604, “Ad Vitellionem paralipomena, quibus astronomiae pars optica traditur”, un tratado dividido en once capítulos, los cinco primeros de óptica y los restantes de astronomía.

### 11.3.2 Termodinámica del Universo

El Universo muestra, desde el punto de vista termodinámico, dos contradicciones:

A. Desequilibrio termodinámico, pues siendo tan viejo no se esperaría en su fría y oscura extensión, la presencia de objetos calientes y brillantes. En este caso, por la segunda Ley de la Termodinámica, la ENTROPIA debe necesariamente aumentar y ello no está ocurriendo.

B. La energía que se emite es mayor que la energía absorbida. ¿Qué se hace el  $\Delta E$ ? ¿Será el que se consume en la expansión? ¿Se convierte en nueva materia para mantener constante la densidad de galaxias?. En tal caso, el desplazamiento al rojo puede ser la parte de energía perdida pues, de lo contrario, no se cumpliría la primera ley de la Termodinámica (conservación de la energía).

### 11.3.3. Forma del Universo

Su curvatura podría ser cero, positiva o negativa; en cada caso sus propiedades serían diferentes, como son diferentes los resultados en las geometrías asociadas a dichas curvaturas:

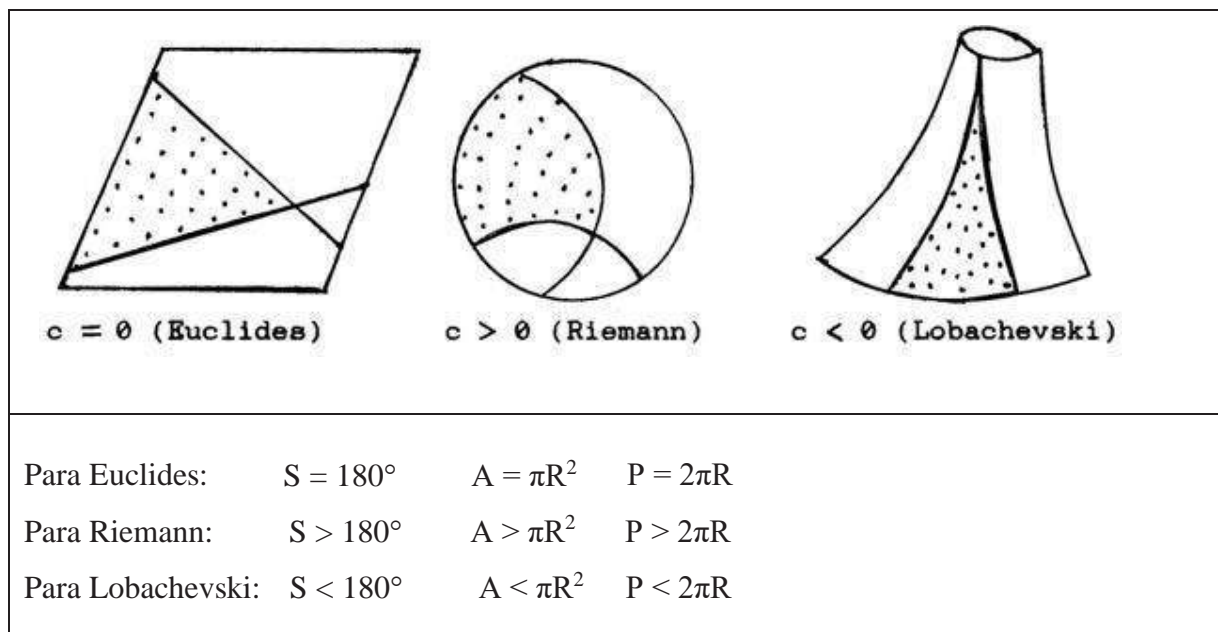


Figura 11.10. Universos continuos y bidimensionales:  $C$  es la curvatura,  $S$  la suma de los ángulos interiores en un triángulo,  $A$  el área de un círculo y  $P$  el perímetro de una circunferencia, de radio  $R$ .

Esto en dos dimensiones, pero el Universo tiene cuatro así: tres espaciales y el tiempo. Cualquier dimensión es ortogonal con las otras tres (todas lo son entre sí).

Si hoy se acepta que el Universo es finito e ilimitado, por su curvatura positiva (Riemann), es sólo una hipótesis, podría demandarse una geometría discontinua (no inventada) que explique mejor su forma.

Observaciones recientes confirman la ausencia de masa y energía en regiones del Universo, por lo que se supone una estructura esponjosa del Espacio Tiempo, lo que sugiere un Universo con forma de pumita o esponja.

#### 11.4. LEY DE HUBBLE

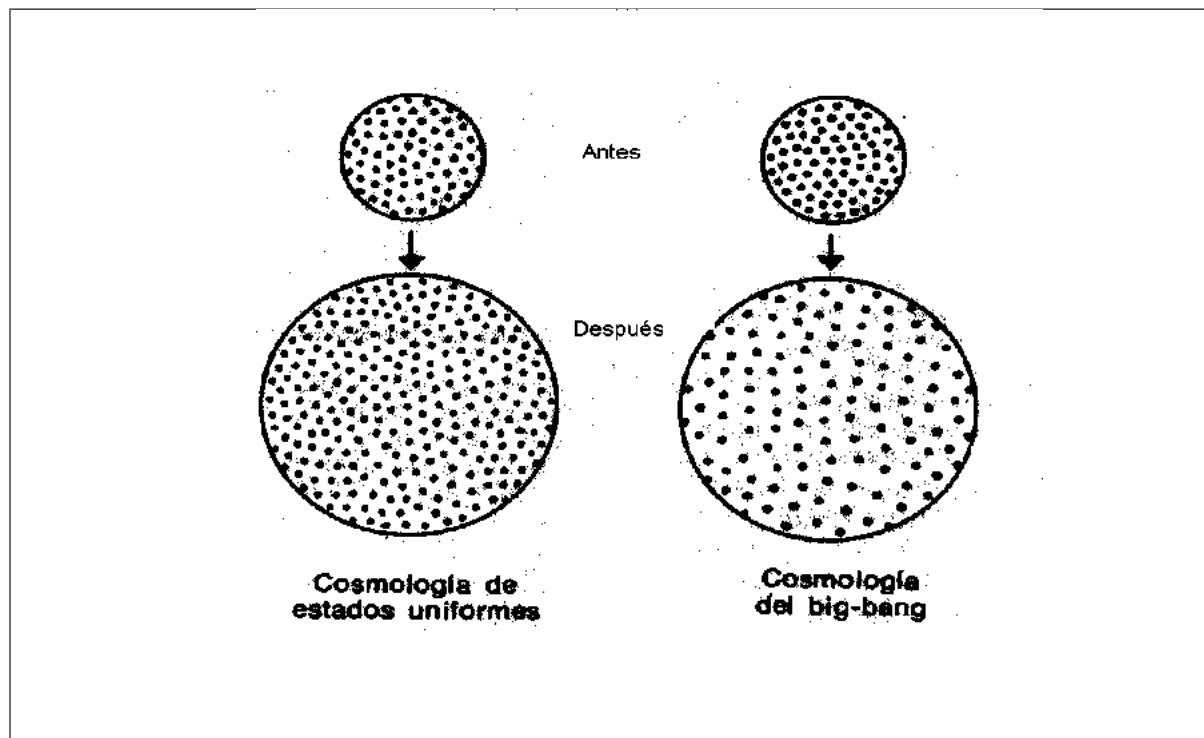


Figura 11.11. El Universo Inflacionario: se expande arrastrando las galaxias, independientemente del movimiento propio que tengan ellas. La función de escala del Universo, será el cociente entre los radios del Universo en dos momentos del tiempo cósmico  $t$ . Esta función podrá crecer o decrecer, según el Universo se expanda o contraiga.

Este astrónomo toma fotografías de galaxias lejanas. Las más pequeñas y opacas muestran mayor desplazamiento al rojo que otras más grandes y brillantes con forma similar. Por la forma el tamaño real de las galaxias debería ser en promedio igual. Sólo la distancia a esas galaxias explicaría su tamaño y brillo variables en las fotografías, y sus diferentes corrimientos al rojo, velocidades radiales explicando un Universo en expansión relativista, que arrastra las galaxias.

Así el Universo está en expansión relativista y la constante de expansión de Hubble ( $H$ ) es del orden de 65 Km/seg por Mpc (mega parsec), o un poco más como se señalará adelante. De por medio está la incertidumbre con respecto a la densidad media actual del Universo. El rango dentro del cual se encuentra el valor de la constante, será el requerido para que cada 100.000 millones de años, se expanda entre un 5% y un 10%.

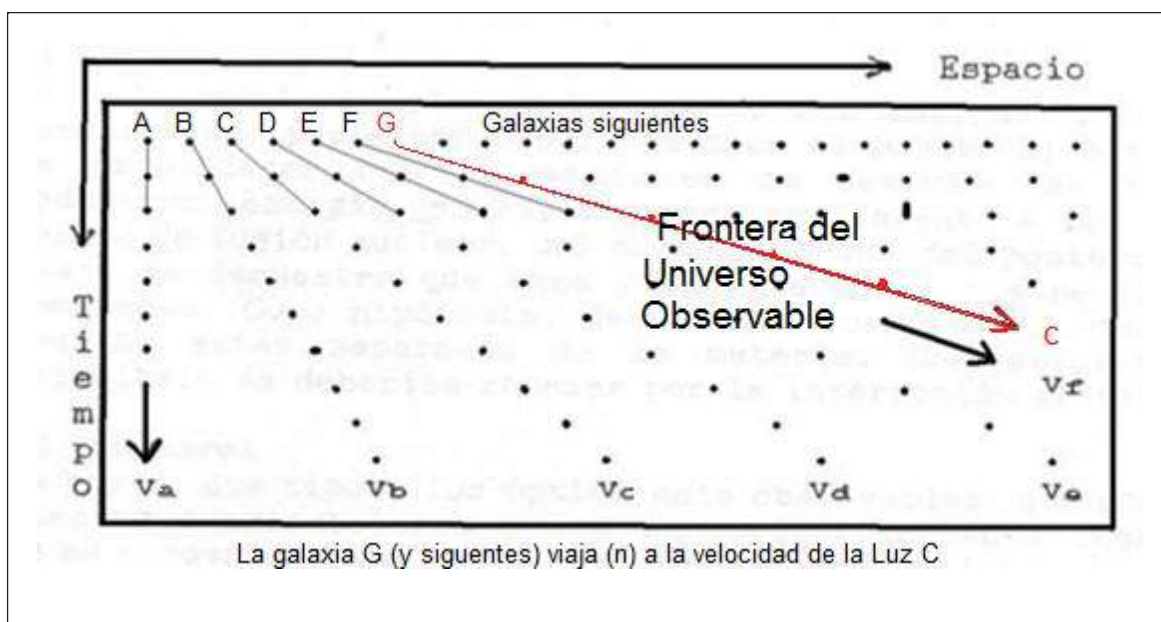


Figura 11.12 Curvas de velocidad de expansión del Universo: a mayor distancia mayor velocidad. La mayor de las velocidades es la que alcance el valor de  $c$ . La menor es  $v_a = 0$ , que es la del origen. Si  $v_g$  vale  $c$ , (velocidad de la luz), ese será el límite del Universo.

No obstante por el fenómeno relativista, los cuerpos más lejanos parecen alejarse a velocidades cada vez mayores, puesto que ellos acumulan los desplazamientos de los cuerpos celestes intermedios.

El tejido de expansión del Universo, viajaría a una velocidad cercana a la de la luz. Más allá, todo viajaría a esa velocidad -cuyo valor es un límite físico-, y de esa región no nos llegará ningún tipo de información. Por ésta razón, sólo se habla del **Universo observable**.

En el capítulo siguiente, se calculará la edad del Universo, dada por el inverso de la constante H. La velocidad de recesión se deduce como siempre, de la fórmula:

$$(\Delta \text{ lambda})/\text{lambda} = v/C$$

Siendo lambda la frecuencia de la raya espectral original,  $\Delta \text{ lambda}$  el corrimiento de la raya, C la velocidad de la luz y v la velocidad de recesión. Actualmente, una galaxia situada a una distancia de 3,26 millones de años luz, se aleja a una velocidad de unos 70 km/s. En la actualidad, la constante de Hubble expresada en (Km/s)/Mal, es de 21'9, valor que en Megaparsec, al multiplicarlo por 3'26, da 71'39 (Km/s)/Mpc.

En la estructura del Universo observable se tiene que su densidad es  $10^{-25} \text{ g/cm}^3$ , su volumen  $10^{78} \text{ m}^3$ , el radio 15000 millones de años luz y la masa  $10^{52} \text{ Kg.}$ , equivalentes a  $10^{80}$  nucleones.

**Sumergiéndonos en el espacio-tiempo.** Ahora pensemos como se verá el Universo en el tiempo, por supuesto en el tiempo pasado. Para tal efecto deberemos sumergirnos, paso a paso, en las profundidades del espacio. Los cuásares que están a 4000 Mpc, los vemos con una antigüedad de 13000 millones de años. Ellos se encuentran en el tejido de expansión del Universo. Son tan antiguos como él mismo.

Existen dos posibilidades: que entre las galaxias (que son próximas a nosotros) y los cuásares se encuentren, solamente, los objetos estelares azules BSO -entes intermedios entre cuásares y galaxias-, sin que en la vecindad de nosotros se encuentren cuásares, ni en los dominios de los cuásares las galaxias. En este primer caso supondríamos que el Universo evoluciona en el tiempo.

La segunda posibilidad sería la de tener cuásares, galaxias y objetos BSO, uniformemente distribuidos en el espacio y el tiempo. Tendríamos entonces cuásares en medio de galaxias próximas y galaxias en medio de cuásares lejanos, adicionalmente objetos BSO entre unos y otras. En este caso no habría evidencia de evolución de la materia a lo largo del tiempo cósmico.

### 11.5. EL GRAN TELESCOPIO CANARIAS.

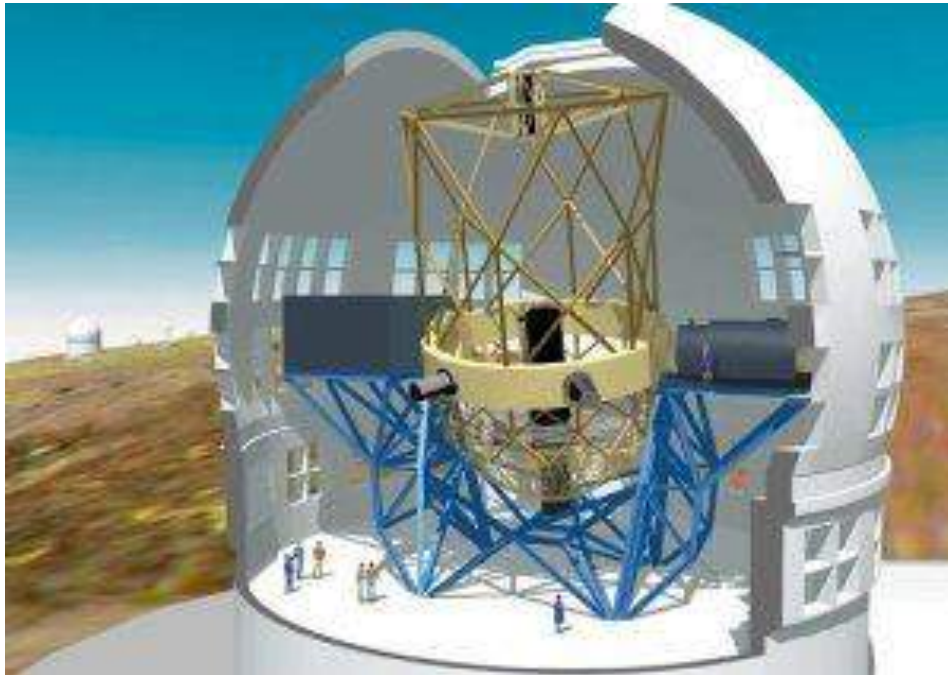


Figura 11.13. Telescopio reflector Grantecan (GTC). Diámetro: 10.4 m. Primera luz: 2004. Fuente: Ing.iac.es

Con un 1/3 de su enorme capacidad, ha recibido su “primera luz” el Gran Telescopio Canarias ubicado a 2.400 m de altitud y en la Palma, la noche de 13 de julio de 2007. Una gran noticia para la comunidad científica española y posiblemente para la hispanoamericana, puesto que son pocos los observatorios existentes en el mundo entero para ofrecer posibilidades a los astrónomos interesados en la astronomía observacional.

En un año, concluyendo la fase de calibración, esta valiosa y singular herramienta astronómica de 100 Ton de peso y la mayor de su género, bajo la dirección del Astrónomo Pedro Álvarez, empezará a cumplir desde el hemisferio norte de la Tierra con los fines para los cuales está concebida.

Si ya su gran espejo segmentado de 10,4 m de diámetro, conformado por 36 piezas hexagonales que lo hacen un 8% superior a los gemelos Keck de 10 m en Hawai, marca una diferencia sustancial con el equipamiento de observatorios nocturnos que existen en el planeta, también el GTC o Grantecan dispone de más recursos para afianzar la investigación de vanguardia, gracias al conjunto de instrumentos científicos incluidos y previstos como complemento, y con los cuales la comunidad científica española, gracias al liderazgo aportado en este proyecto por el Instituto de Astrofísica de Canarias bajo la dirección del Profesor Francisco Sánchez, gana competitividad y posibilidades propias para revertirle a la sociedad ibérica beneficios expresados en el desarrollo de sus fuerzas productivas. Los complementos instrumentales instalados ahora son OSIRIS y CanariCam, y luego vendrán los de segunda generación EMIR, FRIDA y CIRCE.

Con el Grantecan construido en un 70% en fábricas españolas se consolida el complejo conformado por el Observatorio del Roque de los Muchachos y el Observatorio del Teide, en la isla de La Palma, como una de las primeras baterías de telescopios del mundo.

Sea ésta la oportunidad para señalar como un país con condiciones naturales puede desarrollar acuerdos para facilitar el emplazamiento de instalaciones de este tipo, ofreciendo como contrapartida al menos el 1/5 del tiempo de observación en cada telescopio a las instituciones del país sede, además de otra fracción de tiempo adicional para programas con organismos internacionales.

Circular RAC 429, de JULIO 20 de 2007.

## **11.6. EL UNIVERSO ACELERADO**

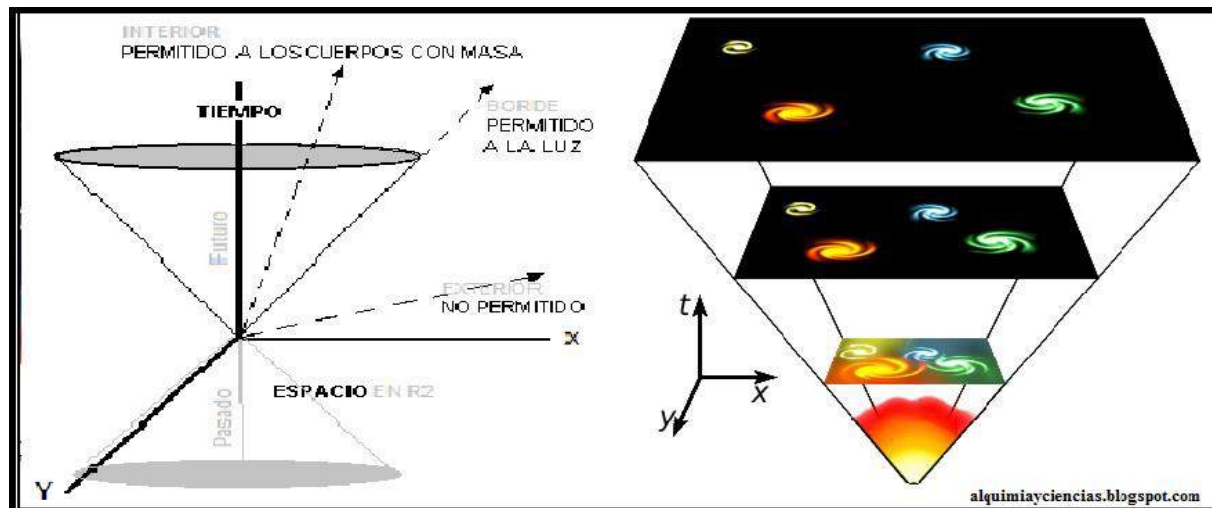


Figura 11.14. Expansión del espacio-tiempo: Cono de Luz, en [teoria-de-la-relatividad.blogspot.com.co](http://teoria-de-la-relatividad.blogspot.com.co); y expansión, en [alquimiayciencias.blogspot.com](http://alquimiayciencias.blogspot.com)

Se ha otorgado el Nobel de Física 2011, a los estadounidenses Saul Perlmutter, Brian P. Schmidt y Adam G. Riess, por las pruebas sobre la expansión acelerada del Universo obtenidas a través de la observación de estrellas supernovas lejanas y de gran energía, una noticia aparentemente trivial para los neófitos pero posiblemente interesante para examinar varios asuntos cosmológicos: el primero, que el firmamento “no es firme” como se presuponía ayer cuando se le creía infinito y por lo tanto eterno e inmutable.

Aún más, la prueba ahora señala que se expande a velocidad creciente, pues se esperaba que la velocidad de expansión fuera decelerada, lo que parecía más probable cuando se piensa en el efecto gravitacional ejerciendo un freno a su expansión, asunto que obliga a pensar en la misteriosa causa que lo acelera.

Respecto a lo primero, debe recordarse que para Newton la evidencia de un Universo infinito, se daba de la observación, ya que de tener límites existiría un centro de gravedad en torno al cual estuviese colapsando: pero existiendo entonces evidencia de la firmeza del Firmamento y como tal de la inexistencia de un colapso, el Universo debía ser infinito y por lo tanto necesariamente eterno. Aún más, para quien argumentara la contradicción que surge, porque al ser infinito la masa que también lo sería obligaría una fuerza infinita para un colapso que tampoco se observa; al respecto se supone que semejante tesis no



desvirtúa esa inmensidad, ya que al estar uniformemente distribuida la materia, la densidad de masa valorada al dividir la cantidad de materia entre el infinito espacio, anularía la citada fuerza.

Y en cuanto al tema del Universo finito, lo único que podríamos asegurar es que, habiendo surgido hace unos 13 mil millones de años como consecuencia de una gran explosión, es en ese origen denominado Big Bang que nacen el tiempo y el espacio, razón por la cual no tiene sentido preguntarnos qué habría antes y tampoco hacia donde se expandirá. Así que este sería un universo con volumen y masa finitos, aunque su forma o “topología” resulte compleja: si pensamos en una recta infinita, podríamos movernos sobre ella sólo en una de dos direcciones pero sin agotar ninguna. Contrariamente, si la línea se cierra formando una circunferencia, podríamos movernos indefinidamente sobre ella sin alcanzar un borde, así la línea cerrada sea finita. Al imaginar el Universo en dos dimensiones, lo que llamamos recta será un plano infinito, y el círculo una esfera. Probablemente el Universo sea comparable a una esfera de radio finito, pero para trayectorias en sus tres dimensiones internas.

Ahora, el asunto que se relaciona con la prueba dada por los galardonados, exige admitir que en astronomía vemos los cuerpos celestes registrando la luz que emitieron en el pasado: mientras más lejanos se encuentren, esta tarda más en llegarnos. Ahora, si surgió el Universo de una gran explosión, fenómeno comprobado con la radiación de fondo omnidireccional obtenida hace poco, tras el paroxismo cuya magnitud debió desvanecerse para permitir la formación tardía de galaxias, ahora que se han observado en las más lejanas enormes explosiones luminosas de grandes estrellas supernovas contenidas en ellas, y que logran eclipsarlas, algo ocurre dado que al observar 50 de dichos cuerpos y conocer sus distancias, se ha determinado que su luz se va atenuando más de la cuenta conforme estén más alejadas: para los astrónomos, esa pérdida adicional de brillo solo tiene una explicación, y es el corrimiento al rojo consecuencia de un cambio creciente en la velocidad radial del movimiento del espacio, conteniendo en el los cuerpos observados.

Ahora, la naturaleza de esa extraña fuerza contraria a la gravedad que acelera el Universo en expansión, a

la luz del conocimiento actual podría tener una explicación probable: la energía oscura contemplada en una teoría de la física moderna, que podría representar un 74% de la materia en el Universo, quien al generar una fuerza opuesta a la gravedad anula el freno gravitacional de la materia normal y con ella la expansión del Universo.

Y para complicar más las cosas, antes de entrar a los complejos asuntos de la materia oscura o materia no bariónica (Ver aparte 12.8) ) y de la energía oscura, me permito cerrar el tema señalando que, a la luz de la física moderna tal cual lo demostró Albert Einstein en 1915, la gravedad no es una fuerza de atracción en sí, sino el efecto de un espacio que se deforma por la masa contenida en él para condicionar la trayectoria en el movimiento de los cuerpos y de la luz.

Ed. Circular RAC 629. October 10, 2011.

## **11.6 ATLANTIS CIERRA ERA DEL TRANSBORDADOR**

El pasado 21 de julio de 2011, con el aterrizaje de la nave Atlantis en Cabo Cañaveral, último vuelo del programa Space Shuttle, llega a su fin la época de los transbordadores espaciales, naves que en 30 años, desde 1981 hasta 2011, con 135 misiones realizadas permiten poner en órbita satélites, telescopios y sondas, como fueron el Telescopio Espacial Hubble, la nave espacial Galileo, el Observatorio de Rayos Gamma y la sonda Ulysses, además de facilitar el desarrollo de experimentos científicos y tecnológicos, de apoyar el abastecimiento y la logística de la estación espacial rusa MIR y de construir y mantener la Estación Espacial Internacional ISS.



Figura 11.15A. Nave espacial Atlantis (Photo: NASA)

El Atlantis, que partiera dos días antes de su emblemático arribo a la Tierra desde la Estación Espacial Internacional, pudo concluir con éxito su último de 32 vuelos, al regresar al Centro Espacial John F. Kennedy de la NASA ubicado en Cabo Cañaveral, Florida. A pesar del carácter reutilizable de estas lanzaderas espaciales, dada la situación de la economía global que también afecta la de los EEUU y del costo del programa considerado desorbitado por los que le apuestan más fácilmente a la guerra que a la ciencia y la tecnología o por quienes desconocen la importancia del conocimiento, Washington decidió su cierre para centrar la atención en el desarrollo de una nueva generación de transbordadores más eficiente, la que estaría operando máximo en un lustro y donde la iniciativa privada de los EEUU tendrá importancia. Paradójicamente, entre tanto los viajes al espacio y servicios conexos con destino a la plataforma orbital continuarán, pero ya a cargo de los transbordadores Soyuz que suelen lanzarse desde el Cosmódromo de Baikonur construido por la Unión Soviética en Kazajistán, lugar ahora bajo control de Rusia.

Sobre el citado programa norteamericano, en atención a los altos costos y limitaciones logísticas de los sistemas espaciales de uso único como fueron los Proyectos Mercuri, Gemini y Apolo de los EEUU, se diseñan los vehículos reutilizables proyectados inicialmente para unos 100 vuelos espaciales, naves cuya primera utilidad era poner y recuperar satélites en órbita baja, y más adelante hacer viable la construcción y operación de una estación espacial estratégica que facilitara experimentos en condiciones excepcionales de microgravedad y vacío.

De esta forma, salvo para el caso de cohetes pequeños y muy grandes, el costo de operar con un transbordador tendría que ser menor que cualquier otro sistema, por lo que surge así la flota de lanzaderas operando primero el transbordador espacial Enterprise (1977-1977) como vehículo de prueba no apto para vuelos orbitales, y luego cinco naves más de carácter operativo, así: inicia el Columbia (1981-2003) que capitalizó el primer vuelo de un transbordador, luego el Challenger (1983-1986) que resultara ser el primer transbordador accidentado, tercero el Discovery (1984-2011) que fue el que más misiones realizó entre todas las lanzaderas, continúa el Atlantis (1985-2011) como cuarto transbordador operativo construido y que ahora cierra el programa, y finalmente el Endeavour (1992-2011) como quinto que para sustituir al Challenger optimizó diseños del Discovery y del Atlantis.

Actualmente no queda ningún transbordador espacial en servicio, luego de que este programa espacial que inicia en los años 60 y se prioriza en los 70, había sufrido las graves consecuencias políticas de dos fracasos: el del accidente del Challenger ocurrido en enero de 1986 y provocado por el desprendimiento de un trozo de poliuretano cuando mueren sus siete tripulantes, y el del desastre del Columbia en 2003 cuya existencia concluye al destruirse la nave al reentrar a la atmósfera, lo que obliga a suspender los vuelos por dos años.

En cuanto al futuro, además de lo señalado en el caso norteamericano y lo que se tenga a la mano por la Agencia Espacial Europea ESA en la materia, la empresa rusa NPO Energía que fabrica naves espaciales y provee componentes para la estación espacial rusa, constructora del Soyuz, los Progress y los

transbordadores Buran, podría sacar adelante un proyecto que requiere financiamiento: el Klipper para substituir las vetustas pero eficientes Soyuz, un nuevo transbordador que mantiene la idea básica del vehículo reutilizable y multipropósito, y que combina los conceptos exitosos desarrollados y probados durante décadas por dicha empresa rusa.

Ed. Circular RAC 620 del 24 jul. 2011.

### 11.7. TRES DÉCADAS DEL HUBBLE



1- NASA/ESA Telescopio Espacial Hubble (Agencia Espacial Europea). 2- HUDF Infrarrojo: El amanecer de las Galaxias (NASA/ESA, G. Illingworth, R. Bouwens y el equipo HUDF09)

Figura 11.15B- 1-Telescopio Espacial Hubble (NASA/ESA). 2- HUDF Infrarrojo: El amanecer de las Galaxias (NASA/ESA, G. Illingworth, R. Bouwens y el equipo HUDF09)

El telescopio espacial Hubble puesto en órbita por el transbordador Discovery el 24 de abril de 1990 y activado el 20 de mayo siguiente para iniciar una misión que concluirá en 2021, con su maravillosa tecnología en tres décadas ha logrado capturar y enviar a la Tierra medio millón de fotografías, entre ellas el primer indicio de un agujero negro en la galaxia M87 ubicada en Virgo a 50 millones de años luz, consistente en un disco gaseoso comprimido en un espacio del tamaño

del sistema solar, conteniendo una masa de dos a tres mil soles en vertiginosa rotación y a una temperatura de 10 mil grados centígrados.

Este telescopio de 11 toneladas y 13,2 m de largo por 2,4 m de diámetro, construido a un costo 2800 millones de dólares, lleva el nombre del astrónomo estadounidense Edwin Hubble (1889-1953), científico que estudiando nebulosas como la que será la Galaxia M31, desvela la dimensión del universo al ubicar cuerpos más allá de la Vía Láctea, para probar junto con el astrónomo Milton Humason, que esos entes son galaxias que se alejan de nosotros a una velocidad creciente y proporcional a la distancia que nos separa de ellas, con lo cual surge la ley Hubble-Lemaitre sobre la expansión relativista del universo, para abrir así las puertas a una nueva era de la cosmología.

Desde su órbita geocéntrica, con período de 97 minutos y a una altitud de 593 km, trayectoria que recorre a 28000 km/h, el Hubble observa con luz ultravioleta, visible y en el infrarrojo cercano el inconmensurable espacio cósmico, donde ha permitido indexar 10 mil galaxias y quince millones de estrellas hasta los confines del universo, para entregar evidencias insospechadas sobre las propiedades del espacio-tiempo, que desafían a los cosmólogos a que se replantee la edad del universo, ya que podría ser mucho más joven de lo que se estima. ¿Tendría acaso no más de ocho mil millones de años en lugar de catorce mil millones? ¿qué hacer con estrellas cuyas edades serían de doce mil millones de años?

Además, el telescopio también se ha ocupado de nuestro propio sistema solar, ha investigado las atmósferas de planetas extrasolares, observado las características y dinámicas estelares y las formas y estructuras de galaxias, entre ellas las protogalaxias ubicadas en los confines del universo, para encontrar evidencias no sólo de la enigmática naturaleza de la materia oscura, sino también de la expansión acelerada y no explicada del Universo, que sería consecuencia de la energía oscura.

Astrónomos de más de cuarenta y cinco países, en cerca de 4800 artículos científicos, se han ocupado de los descubrimientos del Hubble.

Hoy, el Hubble como insigne pionero del programa de grandes observatorios que la NASA lanzó entre 1990 y 2003, como el Spitzer y los telescopios IRAS e ISO, con su extenso acervo de objetos capturados continuará contribuyendo a la innovación científica, entregando evidencias para nuevos puntos de vista sobre el cosmos y dando respuesta a preguntas fundamentales de la astronomía en sus múltiples campos. Todos los telescopios que se llevan a la exósfera para operar sin interferencia, además de mostrar el espacio como nunca se había visto, han superado con creces su vida útil de diseño.

En el futuro gracias a desarrollos colaborativos de unos 17 países, los telescopios espaciales que soportarán la astronomía observacional, serán dos: el James Webb (JWST) que entrará en funcionamiento en 2025 operado por NASA/ESA/CSA/STScI; y el de Sondeo Infrarrojo de Campo Amplio (WFIRST) equipado de un anastigmático de tres espejos que será operado por NASA/JPL/GSFC; este equipo fue seleccionado por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas de Estados Unidos, como la máxima prioridad para la siguiente década de la astronomía.

De un lado, el JWST con órbita heliocéntrica, que se ha diseñado para una misión a 5 años extensible a 10, estará dotado de un espejo plegable de 6,4 m, un diámetro 2,7 veces mayor que el del Hubble, para una potencia 7,2 veces superior; y del otro el WFIRST con su telescopio de amplio campo de visión, 100 veces más ancho que el del Hubble, diseñado para la mitad del tiempo del anterior y parcialmente financiado, se ocupará, además de la energía oscura, de detectar exoplanetas mediante microlentes gravitacionales.

\* [Ref. La Patria. Manizales, 4.05.2020.]

## **11-8. APRENDIENDO DEL SISMO DE HONSHU**

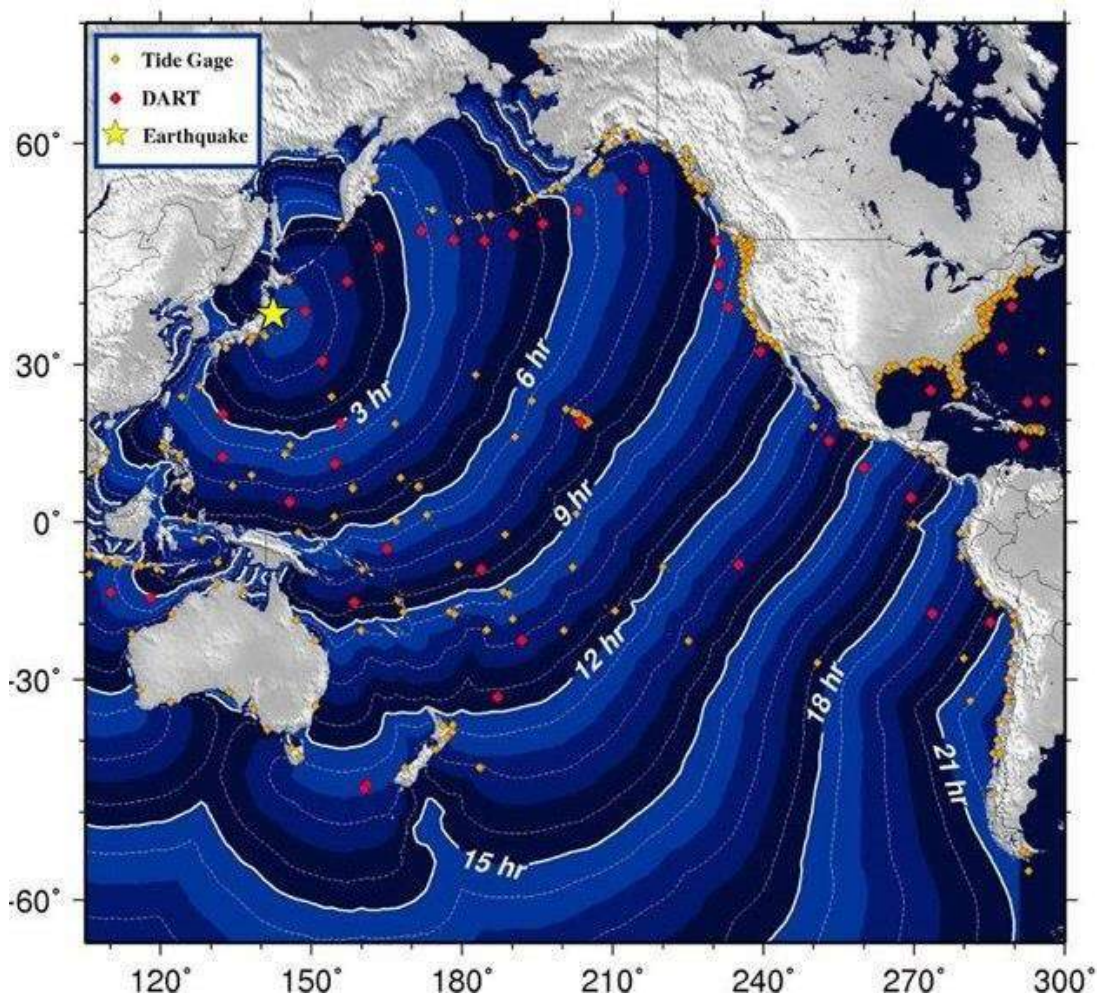


Figura 11.16.: Tiempos de arribo del Tsunami del 11-03-2011, en <http://www.noozhawk.com>

El sismo de magnitud 8.9 ocurrido al este de Honshu, la principal isla del archipiélago japonés, seguido por el devastador tsunami del 11 de marzo, va mostrando con la creciente cifra de cerca de 2200 víctimas mortales y desaparecidos, reducida para la densamente poblada nación asiática, y en la abundante información científica y periodística, la diferencia absoluta con lo ocurrido en Haití en materia de construcciones y preparación ciudadana, pero también el riesgo de depender de sistemas complejos que puedan ocasionar riesgos de segundo orden.

Tras este enorme sismo superficial con epicentro a unos 382 kilómetros al noroeste de Tokio y a 179



kilómetros de Sendai: los hechos dignos de destacar por el compromiso que impone en materia de prevención de desastres por los niveles de preparación y respuesta de la nación asiática al enfrentar la amenaza sísmica en su región, se tiñen con la sombra que se deriva del grave peligro de las centrales nucleares afectadas por imprevisiones frente a esta clase de amenazas en ambientes poblados. Solidaridad con el pueblo nipón por las víctimas de la tragedia y sus damnificados.

Mientras las imágenes mostraban edificios de Tokio todos de construcción sismorresistente, que pudieron soportar las violentas sacudidas del paroxismo principal con sus fuertes y múltiples réplicas, aparecían incendios de depósitos de energía y 17 plantas nucleares de generación eléctrica que suspendían sus operaciones, de las cuales dos han mostrado fallos preocupantes.

Igualmente, además de la ocurrencia del maremoto que generó olas de hasta 10 metros sobre las costas de las prefecturas de Iwate y Kamaishi, comprometiendo hasta ahora la suerte de 10 mil pobladores de un poblado costero vecino, y obligando a distancia a declarar la alerta general para toda la costa del Pacífico y la Antártica, queda la lección que deja el desarrollo de la situación de dos centrales nucleares donde la población cercana ha sido evacuada, dadas las graves consecuencias para la salud pública resultado de ubicar esta clase de instalaciones y otras similares, en zonas pobladas de amenaza sísmica severa.

Los mayores terremotos registrados en el mundo, ordenados por su magnitud MW en la escala Richter, que se basa en la medición de la energía total que se libera en el foco del terremoto, son: el de Valdivia en Chile, del 22 de mayo de 1960 con 9,5 MW; el de Anchorage en Alaska, del 28 de marzo de 1964 con 9,2 MW ; el de Kamchatka en la Unión Soviética, del 4 de noviembre de 1952 con 9,0 MW ; y ahora este de Honshu en Japón, del 11 de marzo de 2011 con 8,9 MW, en el cuarto lugar.

El terremoto de Haití del 12 de enero de 2010, con epicentro a 15 km de su capital Puerto Príncipe y cuya magnitud de solamente 7,0 grados, equivalentes a una energía 900 veces inferior a la del terremoto

de 8,9 , ocasionó en el país caribeño más pobre de América la fatídica cifra de 150.000 víctimas recuperadas, de un número que excedería las 200.000 vidas humanas, por lo que este evento caribeño resulta tan fatídico como el de Indonesia (2004) con 280.000 muertos pero de una magnitud 8,9, como la del sismo del Japón.

En consecuencia, para nuestros países donde las aglomeraciones humanas vulnerables progresan, sabemos que los desastres asechan, no porque tengamos ahora más sismos de lo esperado, sino porque frente a estos eventos de gran magnitud crecerá la frecuencia de los desastres dados los largos períodos de recurrencia de eventos fuertes en una misma región con fuentes sísmicas importantes, ya que tras décadas o siglos de espera, se han ido consolidando conglomerados humanos no planificados ni adaptados para estas amenazas.

De ahí que urja estudiar detenidamente la amenaza sísmica en nuestros medios urbanos, zonificar sus suelos, acondicionar con obras sismo-resistentes líneas vitales y edificios públicos por lo menos, ajustar prácticas de construcción y vigilancia de nuevas edificaciones y contemplar medidas para prevenir y actuar frente a efectos secundarios como deslizamientos, maremotos e incendios.

En Colombia, esperamos otro evento de magnitud cercana a 7 asociado a la fuente sísmica de la zona de subducción como los del 62, 79 y 85 y tenemos una amenaza alta por tsunami que atender en nuestra costa del Pacífico; también existen nuevas circunstancias dado el advenimiento del gas domiciliario a lugares tan vulnerables como los antiguos centros poblados con sus viviendas de bahareque; e igualmente sectores altamente vulnerables y poblados como algunos conglomerados urbanos de construcciones en mampostería no reforzada que colapsarían en caso de sismo superficial importante proveniente de fuentes sísmicas locales, como las fallas activas vecinas a Bogotá, Medellín o Cali.

Ed. Circular RAC 602. March 15, 2011.

## **11.9. RÉQUIEM POR LA METEOROLOGÍA EN COLOMBIA.**

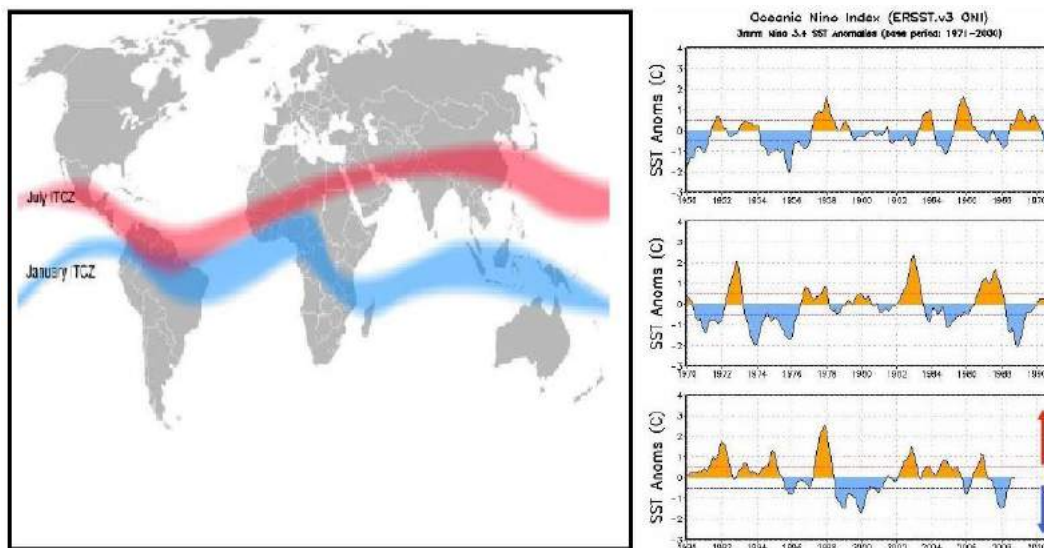


Figura 11.17: Dinámica de la Zona de Confluencia Intertropical ZCIT, en: [www.fondear.org](http://www.fondear.org) y Eventos del ENSO durante medio siglo. Según ERSST.

Preocupa sobre manera la información suministrada por el meteorólogo Max Henríquez, relacionada con el visto bueno a un proyecto del gobierno con la acreditada entidad científica National Oceanic and Atmospheric Administration NOAA de los Estados Unidos, el que contempla montar por fuera del Estado un nuevo servicio meteorológico en Colombia para que haga lo que le corresponde hoy al IDEAM en esa materia.

De prosperar este fatídico intento, advierte el prestigioso geofísico colombiano, el país va a tener que sufrir las graves repercusiones en el futuro, justo cuando el clima va a ser otro a causa del calentamiento global. Para la zona andina colombiana, en los períodos de El Niño las temporadas de invierno y verano del año son más secas, y más frecuentes e intensos los huracanes del Caribe; y durante La Niña, ocurre lo contrario; ambas temporadas son más húmedas, y se presentan menos tormentas tropicales.

La ominosa idea que tras haber desmantelado mucho antes el emblemático y eficiente Servicio Colombiano de Meteorología e Hidrología adscrito al Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC, en vez de fortalecer el Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras HIMAT y coordinarlo con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, un año después de conmemorar 200 años de la muerte del sabio Mutis y del nacimiento de la meteorología científica en Colombia que se inicia con las mediciones geofísicas de la Expedición Botánica, opta por darle fin a esa capacidad institucional de carácter público ya reducida, para afrontar la adversidad de una amenaza climática de primer orden por no considerar la ciencia como proyecto fundamental para la construcción de la Nación Colombiana.

Cuando las consecuencias esperadas exigen fortalecer los niveles de información sobre variados microclimas de un clima que promete elevar su temperatura en 2° C para la región andina y en 3° C para el resto del territorio nacional, no tendremos la capacidad de ocuparnos desde el Estado en el estudio del estado del tiempo, y de las dinámicas y la compleja fenomenología del medio atmosférico con las leyes que lo rigen, bajo la óptica de garantizar un servicio público esencial. Así para qué geofísicos y astrónomos en nuestra patria. Ed RAC 503. February 13, 2009.

#### 11.10. SOL, CLIMA Y CALENTAMIENTO GLOBAL

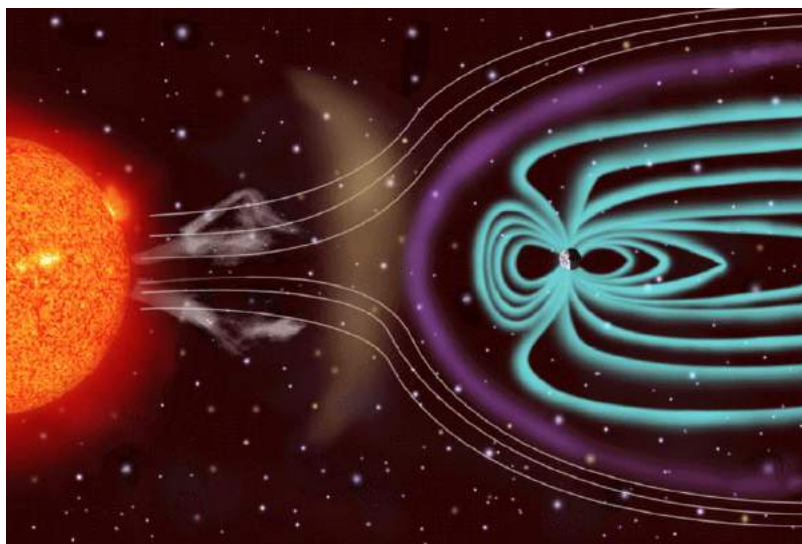


Figura 11.18. Magnetósfera terrestre y viento solar. Fuente: <http://sohowww.nascom.nasa.gov>

Para las ciencias de la Tierra, uno de los dilemas por resolver, es: hasta qué punto influye la actividad solar en el clima terrestre.

De conformidad con los modelos heliofísicos, es el magnetismo de la atmósfera solar quien influye en la luminosidad del Sol, y por lo tanto en los cambios en radiación solar, fenómeno cuya evolución inferida a partir de mediciones y aplicación de modelos, permite elaborar pronósticos sobre el complejo comportamiento del Sol, necesarios para estimar las tendencias del clima terrestre. Aunque astrónomos y geofísicos soportados en correlaciones, pueden afirmar que cuando el Sol está tranquilo la Tierra permanece fría, aún no sabemos el porqué de los cambios de la actividad del Sol, así en 2002 se haya logrado desentrañar el misterio de los neutrinos solares.

Cuando hablamos del clima, nos referimos a las condiciones de la atmósfera en una región, durante un periodo de largo plazo; no obstante a nivel global, el Sol puede influir en el clima de diversas maneras, incidiendo sobre la temperatura, la humedad, la precipitación, la presión y los vientos de un determinado territorio, así estos elementos estén determinados por factores como la latitud, la altitud, el relieve y la distancia al mar. A modo de ejemplo, el agujero en la capa de ozono descubierto sobre la Antártida en 1985, no sólo parece ser provocado por la actividad humana, sino también por los rayos ultravioletas provenientes del Sol: al debilitarse el efecto fotoquímico con la destrucción de esta capa que filtra la radiación solar, la alta energía incidente que llega a la Tierra modifica nuestro clima, de la misma forma en que lo venimos haciendo con la actividad antrópica durante el último siglo.

Con sus dinámicas estelares, tales como el ciclo de 11 años de las manchas solares, el Sol modifica la estructura del campo magnético de nuestro planeta, presentándose la expansión y contracción de la atmósfera terrestre, con las variaciones en las temperaturas y densidades de la magnetosfera. Evidentemente, la imposibilidad de una predicción a largo plazo del comportamiento solar, así sea teórica, es que al ser la actividad solar un fenómeno caótico, en lugar de predicciones lo que procede es la elaboración de pronósticos. Este tipo de estimaciones, propio para cualquier fenómeno caracterizado por

las incertidumbres, se dificulta en el caso del Sol, por el desconocimiento exacto del campo magnético solar y por la falta de registros históricos sobre radiación solar y rayos cósmicos, así la relación entre cambios de luminosidad solar y energía recibida en la Tierra, sea prácticamente lineal.

Para ilustrar los cambios del clima que se han dado en todas las escalas de tiempo, a lo largo de la historia de la Tierra, tenemos además de las cinco grandes glaciaciones, cuyo último evento ocurrió en el Cuaternario, dos situaciones antagónicas y recientes: una, la “pequeña glaciación” asociada a un periodo frío ocurrido entre 1550 y 1850, en el que se presentaron tres picos fríos (1650, 1770 y 1850), pequeña edad del hielo acompañada de lluvias que coincidió con un período de baja actividad en las manchas solares. Y dos, el actual “calentamiento global” un efecto invernadero de celeridad excepcional ocurrido en los últimos 50 años, en el que la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera ha alcanzado un nivel sin precedentes en los últimos de 500 mil años, fenómeno cuya característica fundamental es la ocurrencia de eventos climáticos extremos.

Para mostrar el alcance de la actual problemática, dos escenarios. El Ártico, está en peligro por el calentamiento global: el fenómeno facilita actividades depredadoras que amenazan esta “última frontera”, tales como prospecciones petroleras, pesca industrial y tráfico interoceánico. Degradar dicho ecosistema, traerá consecuencias insospechadas como elevación del nivel del mar, erosión costera y temporales. Y la Amazonía, donde el cambio climático y la deforestación comprometen este ecosistema que alberga el 30% de la biodiversidad de la Tierra; allí donde la selva se transforma en sabana, los apetitos del mercado presionan por los recursos del tercer reservorio de materias primas estratégicas del planeta, después del Oriente Medio y la Antártida. La degradación de la Amazonía traerá consecuencias trágicas para los pueblos indígenas que la habitan y para la biodiversidad, además de severas afectaciones climáticas globales. [Ref. La Patria. Manizales, 20014.08.4]

### **11.11. CAMBIO CLIMÁTICO Y SUSTENTABILIDAD DEL TERRITORIO.**

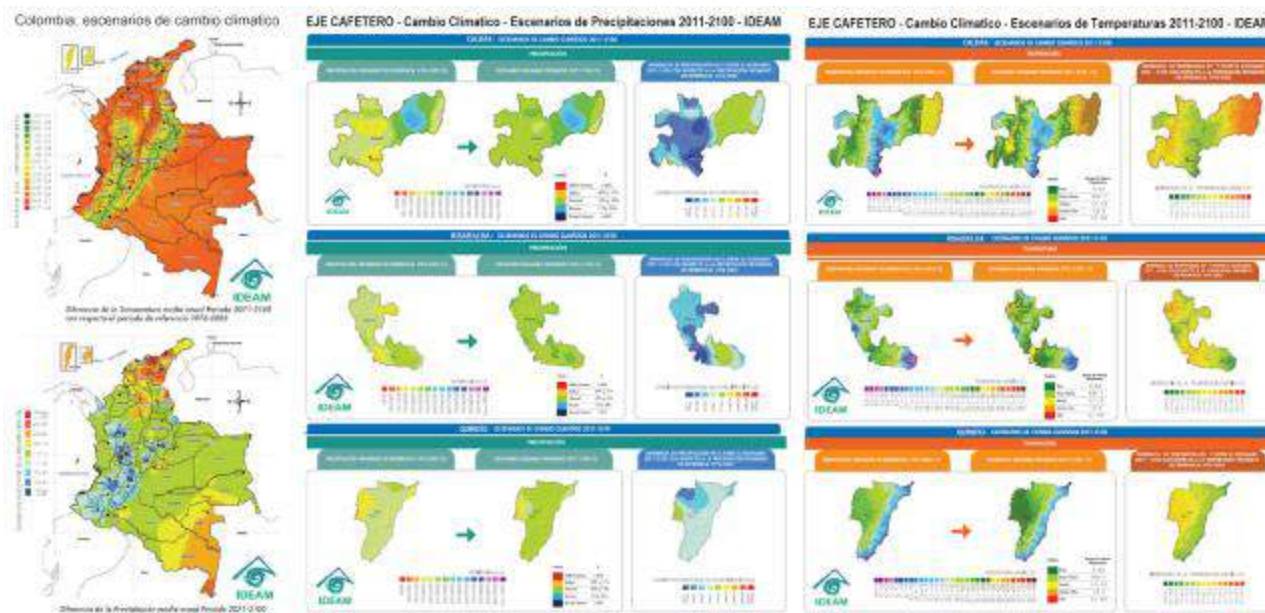


Figura 11.19. Colombia: Escenarios de cambio Climático 2011-2100. IDEAM (2015).

*RESUMEN: A diferencia del calentamiento global asociado a causas naturales cíclicas como las variaciones de la actividad solar, el actual cambio climático caracterizado por el aumento de la temperatura del planeta tiene una componente antropogénica notable, asociada a las emisiones a la atmósfera de gases de efecto invernadero. Veamos a nivel regional sus implicaciones, de conformidad con los escenarios modelados a lo largo del siglo XXI que entrega el IDEAM para Colombia en 2015, y los retos para mitigar sus graves consecuencias sobre los ecosistemas en el Eje Cafetero, dada la vulnerabilidad del territorio asociada a sus altos niveles de deforestación, fragmentación de los frágiles ecosistemas y modelo conflictivo de ocupación del territorio.*

Las consecuencias del cambio climático y de la desproporcionada intervención humana señalada en “Colombia Viva 2017” por la WWF, son los ecosistemas en estado crítico y cientos de especies amenazadas, que están poniendo en riesgo de colapso al 86,1% de dicho patrimonio en la Región Andina. En Colombia, el segundo país más biodiverso del mundo, ubicándose por debajo de Brasil, se han identificado 85 tipos de ecosistemas, de los cuales la tercera parte se ha deteriorado, 20 tipos aparecen en estado crítico y 17 más en peligro.

Al respecto: a) según “Colombia Viva 2017”, de 284 especies de animales terrestres en los libros rojos (44 insectos, 4 arácnidos, 54 anfibios, 29 reptiles, 125 aves y 28 mamíferos), 41 están en peligro crítico, 112

amenazadas y 131 son vulnerables”; y b), el informe “Escenarios de Cambio Climático 2011-2100” (IDEAM 2015), contempla para Colombia incrementos de Temperatura promedio en las áreas continentales de 1,4°C y de 1,5°C en los mares de la patria. Adicionalmente las lluvias, que se incrementarán en las zonas de montaña entre un 10 y 40%, con máximos en Caldas y Risaralda, también se reducirán entre un 10 y 40% en la costa norte y archipiélago de San Andrés, y en la Amazonía.

Y aunque cuenta nuestro territorio en su valioso patrimonio natural con cuatro Parques Naturales Nacionales PNN: el de los Nevados, el Tatamá, la Selva de Florencia, y el Santuario de Fauna y Flora Otún-Quimbaya, tal cual lo hizo Pereira, deberían elevarse a la misma categoría las RFP de Chec y Río Blanco, y el Parque de Cocora, para blindar los ecosistemas y el agua en las capitales cafeteras. A pesar de la Ley 99 de 1993, cuyo Art. 1. N4 dice: “Las zonas de páramos, subpáramos, los nacimientos de agua y las zonas de recarga de acuíferos, serán objeto de protección especial”, este patrimonio está amenazado, no sólo por el cambio climático, sino también por pasivos ambientales y presiones actuales de naturaleza antropogénica.

En Caldas, para el fin de siglo la temperatura del Departamento, según el IDEAM, podrá aumentar en 2,4°C en promedio. Los principales aumentos se podrán presentar en la región magdalenense, en donde la temperatura podría aumentar hasta en 2,5°C. Y en precipitaciones, estima el IDEAM que en general el departamento tendrá aumentos de entre un 20% en 2040 y hasta un 28% para fin de siglo, y que en las subregiones Centro Sur, Bajo Occidente y Alto Occidente para entonces, la precipitación podrá aumentar hasta el 30%.

En Risaralda, para el IDEAM a finales de siglo la temperatura podrá presentar aumentos de hasta 2,4°C en los valles de los afluentes del Cauca, y un mayor el incremento hacia el poniente en Pueblo Rico y Mistrató. En precipitaciones añade, se podrán presentar aumentos importantes en promedio de hasta un 28%, y entre 30% y 40% en Pereira, Quinchía y Santuario. En la cuenca del San Juan, la zona cordillerana y otras localidades vecindades del Cauca, se esperan los menores cambios de precipitación.

Y en Quindío, estima el IDEAM que para finales de siglo, se podrán presentar aumentos de temperatura sobre el valor actual, en especial hacia el poniente (Quimbaya, Montenegro, La Tebaida, Armenia, Circasia y Filandia) donde esa variable podría incrementarse 2,3°C. Y en cuanto a la precipitación, el mayor aumento con un 24%, se daría en los municipios de Quimbaya y Filandia, según los escenarios modelados.



La migración de las zonas de vida en 170 m de altitud por cada grado centígrado conforme el clima varíe, pasará factura sobre los ecosistemas fragmentados. Habrá que mitigar el descontrol hídrico y pluviométrico, y resolver de paso la fragmentación de los ecosistemas recuperando rondas hídricas, dos problemas relacionados con el alto índice de deforestación que vulnera los derechos bioculturales del territorio e incrementa el riesgo frente a la amenaza del cambio climático. En suma: la planificación integral para un desarrollo sustentable, en la que los usos del suelo garanticen la función social y ecológica de la propiedad, debe empezar por una adaptación del modelo productivo y de ocupación del territorio, no solo a los preceptos de la ley ambiental sino también a las dinámicas del clima, para garantizar los servicios ambientales y proteger la biodiversidad. [Ref.: La Patria. Manizales, 2019.10.7]

### Lecturas complementarias N°11:

<p><u><i>Ciencia, saberes, empleo y ruralidad, en el PND 2010-2014.</i></u></p> <p><u><i>Construyendo paz en el Magdalena Medio.</i></u></p> <p><u><i>Ecorregión Cafetera y Bioturismo.</i></u></p> <p><u><i>El Paisaje Cultural Cafetero.</i></u></p> <p><u><i>El transporte rural y el desarrollo de Caldas.</i></u></p> <p><u><i>A propósito de los 70 años de la U.N. Sede Manizales.</i></u></p> <p><u><i>Al aula, con "el proyecto cultural de la nación" por construir.</i></u></p> <p><u><i>Antropoceno... ¿concepto cultural o geológico?</i></u></p> <p><u><i>Ciencia, Tecnología, Desarrollo y PIB en Colombia.</i></u></p> <p><u><i>Ciencia, Tecnología y Emprendimiento – CT&amp;E.</i></u></p> <p><u><i>Ciencias naturales y CTS.</i></u></p> <p><u><i>Ciencia y tecnología en la sociedad del conocimiento.</i></u></p> <p><u><i>Conocimiento y prosperidad en Colombia.</i></u></p> <p><u><i>Del antropocentrismo al biocentrismo.</i></u></p>	<p><u><i>Sol Lunas y Planetas del Sistema Solar.</i></u></p> <p><u><i>Tiempo y Calendarios.</i></u></p> <p><u><i>Tifón se bate sobre San Andrés.</i></u></p> <p><u><i>Tierra y ruralidad en Colombia.</i></u></p> <p><u><i>Tres décadas del Hubble.</i></u></p> <p><u><i>Trigésimo quinto aniversario del desastre volcánico del Ruiz.</i></u></p> <p><u><i>Tribugá: ¿es posible el desarrollo sostenible?</i></u></p> <p><u><i>Túnel de La Línea.</i></u></p> <p><u><i>UMBRA: la Ecorregión Cafetera en los Mundos de Samoga.</i></u></p> <p><u><i>Un nuevo modelo educativo.</i></u></p> <p><u><i>Un pacto con la sociedad y la naturaleza.</i></u></p> <p><u><i>Un Plan de Acción para encausar el Megaproyecto San José.</i></u></p> <p><u><i>Una lectura al PCC desde Pijao.</i></u></p> <p><u><i>Una visión sistémica del Aeropuerto del Café – Aerocafé.</i></u></p>	<p><u><i>Impacto por la multimodal en el Magdalena Centro.</i></u></p> <p><u><i>Innovación y gobernanza para la crisis cafetera.</i></u></p> <p><u><i>Magdalena Centro como nodo andino intermodal.</i></u></p> <p><u><i>Medio ambiente, mercado y Estado.</i></u></p> <p><u><i>Movilidad y modelo urbano.</i></u></p> <p><u><i>¿Para quién la plusvalía urbana?</i></u></p> <p><u><i>Plusvalía urbana para viabilizar el POT de Manizales.</i></u></p> <p><u><i>Revolución urbana, desafío para el Eje Cafetero.</i></u></p> <p><u><i>Sí a la Metropolización del Centro-Sur de Caldas.</i></u></p> <p><u><i>Sistema urbano y ciudad región del Eje Cafetero.</i></u></p> <p><u><i>Tercera vía y desarrollo en Colombia.</i></u></p> <p><u><i>Teoría Económica: Economía General.</i></u></p> <p><u><i>Teoría Económica: Macroeconomía.</i></u></p> <p><u><i>Teoría Económica: Microeconomía.</i></u></p> <p><u><i>Yuma, el río de Colombia impactando el territorio.</i></u></p>
--	---	--

UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
COLOMBIA (1867-2017)



**GUÍA ASTRONÓMICA**

Gonzalo Duque-Escobar

**MANIZALES, 2020**

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3252>

Anexo 1: Colombia tropical: ¿y el agua qué?.	Anexo 12: La Luna
Anexo 2: Calentamiento global en Colombia	Anexo 13: Cultura y Astronomía (C&A)
Anexo 3: Aspectos geofísicos y amenazas naturales en los Andes de Colombia.	Anexo 14: Astronomía en La Edad Media y el Renacimiento.
Anexo 4: El camino a las estrellas.	Anexo 15: Sol, lunas y planetas.
Anexo 5: Isaac Newton	Anexo 16: Manual de geología para ingenieros
Anexo 6: Albert Einstein.	Anexo 17: Riesgo sísmico: los terremotos.
Anexo 7: Stephen Hawking	Anexo 18: CTS, Economía y Territorio.
Anexo 8: Geotecnia para el trópico andino.	Anexo 19: Cultura y Turismo en Caldas.
Anexo 9: Preservación Ambiental e Hídrica del Paisaje Cultural Cafetero.	Anexo.20: El Río Cauca y el desarrollo de la región.
Anexo 10: Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial.	Anexo 21: Videos: Temas de Astronomía y Medio Ambiente.
Anexo 11: Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia.	Anexo.22: UMBRA: la Ecorregión Cafetera en los Mundos de Samoga.
Enlaces U.N.: Textos “verdes”	<b>El Autor: Gonzalo Duque-Escobar</b>

**HOME:**

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3252>

CONTENIDO: PRESENTACIÓN. GUÍA Nº 1. HISTORIA DE LA ASTRONOMÍA. GUÍA Nº 2. COORDENADAS ASTRONÓMICAS. GUÍA Nº 3. ELEMENTOS DE MECÁNICA PLANETARIA. GUÍA Nº 4. TIEMPO Y CALENDARIOS. GUÍA Nº 5. EL SISTEMA SOLAR. GUÍA Nº 6. SOL, LUNAS Y PLANETAS. GUÍA Nº 7. COSMOGRAFÍA. GUÍA Nº 8. ELEMENTOS DE ASTROFÍSICA. GUÍA Nº 9. LAS ESTRELLAS. GUÍA Nº 10. LAS GALAXIAS. GUÍA Nº 11. EL UNIVERSO. GUÍA Nº 12. TEORÍAS COSMOGÓNICAS. GUÍA Nº 13. ASTRONOMÍA EN COLOMBIA. BIBLIOGRAFÍA

**A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.**





## 12.1. ALGUNOS CONCEPTOS

**12.1.1. Antimateria.** Por cada partícula elemental, existe una **antipartícula** (raras excepciones); por ejemplo del electrón el positrón; entre ellas sus propiedades son opuestas, en su reacción se aniquilan produciendo energía en rayos gamma, equivalentes a 100 veces la energía de fusión nuclear, del aniquilamiento del **positronio** (par  $e^+ e^-$ ) se demuestra que masa y energía son dos aspectos de la misma cosa. Como hipótesis, de existir cuerpos de antimateria, deberían estar separados de la materia. Una galaxia y una antigalaxia se deberían repeler por la interacción gravitatoria. Existe la posibilidad teórica de que el Universo contenga galaxias antimateria, formadas por estrellas antimateria y planetas antimateria. De detectarse la antimateria, se produciría una revolución cosmológica.

**12.12. Cuásares.** Los hay de dos tipos: los ópticamente observables que pueden ser galaxias cuasiestelares y los radio-eléctricamente observables que se presentan como fuentes cuasiestelares (radioondas). Ambos son fuentes radiantes casi puntuales, (a modo de estrellas), y de **espectro insólito**, por su gran desplazamiento al rojo, lo que significaría que se alejan casi a la velocidad de la luz y por lo tanto estarían en los confines del Universo. Así, sería la macro-estructura más antigua que se ha detectado y en tales circunstancias su luminosidad sería enormemente superior a la de una galaxia. Pero, paradójicamente, por la energía emitida su diámetro debería ser mucho mayor que el de las galaxias y su contorno observable, más sin embargo en las fotos, apenas presentan el tamaño de una estrella gigante. Tan pequeño diámetro y tan alta densidad (como estrellas masivas que chocan y producen reacciones en cadena) permiten la **hipótesis** de un núcleo galáctico en explosión a modo de galaxia supernova.

**12.13. Nebulosas.** Pueden ser interestelares (entre estrellas) e intergalácticas (entre galaxias). Por la actual **composición del Universo**,  $^1\text{H} = 90\%$ ,  $^4\text{He} = 9\%$ , otros = 1% así:  $^{12}\text{C} = 0.03\%$ ,  $^{14}\text{N} = 0.01\%$   $^{16}\text{O} = 0.06\%$ , su edad estaría entre 10 mil y 20 mil millones de años. Las nubes se orientan en el campo magnético de la galaxia o con el campo magnético del cúmulo galáctico.

Otra clasificación de las nebulosas es en Región H1 y Región H2. Las de la **Región H1** se forman por Hidrógeno frío,  $t = 100^\circ\text{K}$ , no emiten luz, el gas está menos denso y no es ionizado, mientras que en las de la **Región H2** la temperatura es  $10000^\circ\text{K}$  y los gases están ionizados, por la luz ultravioleta procedente de las estrellas en el interior de la nube, ejemplos, las nebulosas Orión y Tarántula.

**12.14. Agujeros negros.** Es la fase última de una estrella de gran masa que ha colapsado por su propio peso, comprimiéndose hasta formar un punto de densidad infinita y volumen cero. Los físicos llaman a este punto **singularidad**; una región en la que se vienen abajo las leyes normales de la física y en las que el concepto de tiempo pierde el sentido.

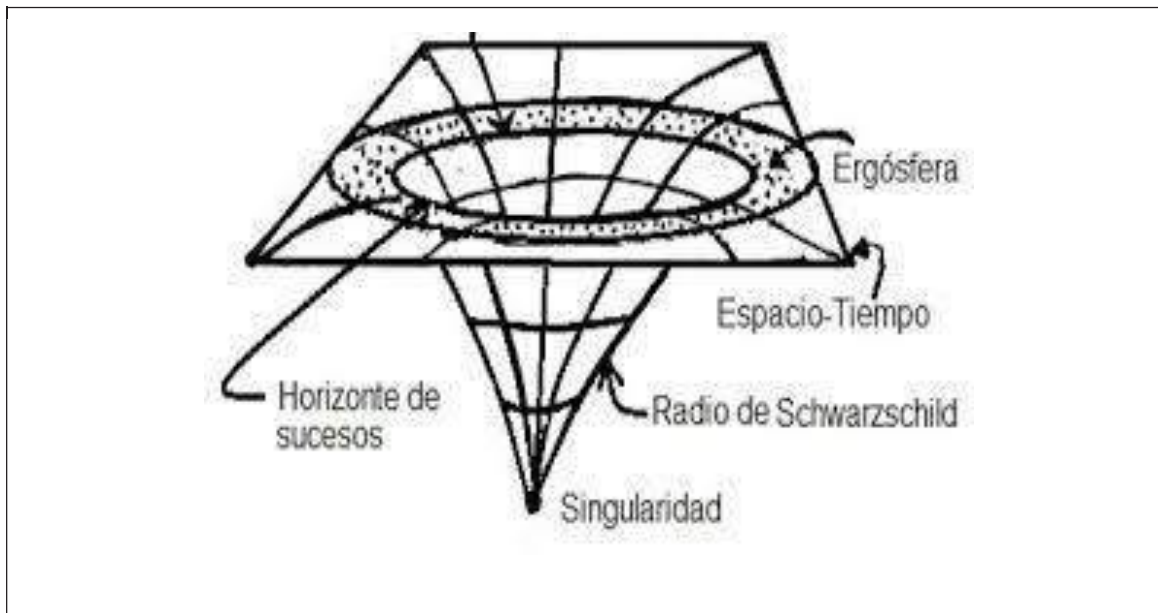


Figura 12.1. El agujero negro: aquí se dibuja el espacio deformado, en solo dos dimensiones.

Tal singularidad está rodeada de enormes fuerzas gravitatorias. La atracción gravitatoria impide que la luz salga de un cierto entorno, denominado **horizonte de sucesos**, manteniendo así invisible el agujero y dándole su nombre. Incluso, la materia que se aproxima demasiado es atraída y queda atrapada para siempre, incluso por fuera de este horizonte, en una región denominada **ergósfera**. Si de la ergósfera, puede salir la luz, no podrá hacerlo un planeta.

**12.15. Agujeros blancos.** Entes hipotéticos, **reversos** de agujeros negros, por donde se generaría materia proveniente de otro Universo. El mejor candidato sería el Universo en su conjunto.

**12.16. Radiación remanente.** Puede ser Radiación Cósmica Galáctica y Radiación de Fondo.

La primera, explicada por supernovas, consiste en **rayos cósmicos** (alta frecuencia) que pueden incidir o escapar de la galaxia, según su campo magnético la oriente.

La radiación de Fondo, está constituida por ondas de radio omni-direccionales (en todas las direcciones), que podrían ser el remanente del Big Bang. Esta radiación, equivalente a una temperatura actual para el Universo de  $\sim 3^\circ \text{K}$ , y que ha disminuido con su expansión, nos permite calcular su edad termodinámica.

**12.17. Materia oscura.** Para elaborar un modelo satisfactorio del Universo se debe evaluar su masa total de materia. El valor de la expansión o de la contracción del universo depende de su contenido de materia. Si la actual densidad es mayor que la densidad crítica, las fuerzas gravitatorias detendrán la expansión y el Universo se comprimirá en sí mismo para luego iniciar un nuevo ciclo de expansión. En cambio, si el universo tiene una densidad menor que ese valor, se expandirá para siempre.

En la actualidad, la densidad de materia detectada, -la que brilla, que refleja la luz y que la absorbe, es un 20% menor que la necesaria para alcanzar la densidad crítica. Sin embargo, los astrónomos sospechan que una cierta cantidad de materia podría faltar en esta evaluación: la contenida en agujeros negros o la omitida en las estimaciones afectadas por graves errores o por los métodos instrumentales, pues existe materia oscura no detectable por medio de la luz visible, pero sí en otras longitudes de onda (por ejemplo: infrarrojas) o no inventariada por estar localizada en las enanas marrones.

Se ha sugerido que las enanas marrones (cuerpos que no tienen luz propia) podrían constituir halos invisibles rodeando las galaxias. Esta idea ha sido introducida para tratar de explicar los movimientos de objetos ubicados en los alrededores de las galaxias, y que indican así la presencia de cuerpos celestes imposibles de detectar con las técnicas actuales de observación.

**12.1.8 Las lentes gravitatorias.** La enorme masa de una galaxia lejana de poco brillo puede actuar como una pequeña lente gravitacional, creando múltiples imágenes un objeto brillante más lejano y alineado detrás de ella. Es el caso de imágenes dobles y cercanas de quásares, que tienen igual brillo y el mismo corrimiento al rojo.

El fenómeno se explica así: para dos cuerpos alineados de esa manera, galaxia y cuasar, el haz de luz que proviene del cuasar y pasa rasante a la galaxia, se desvía acercándose a la recta que une ambos cuerpos con el observador. Si se consideran dos haces luminosos avanzando desde el cuasar hasta el observador, pasando por costados diametralmente opuestos de la galaxia, pero rasantes a ella, se producen dos imágenes del quásar, muy próximas, ya que para el observador ambos haces de luz aparecen separados en el cielo. En ciertas condiciones se pueden observar más de dos imágenes del mismo quasar.

## 12.2. PRINCIPIOS COSMOLÓGICOS.

La cosmología es la ciencia que estudia el Universo: sus propiedades, origen, estructura y evolución. Para el efecto, los cosmólogos utilizan modelos consistentes en esquemas hipotéticos de cómo sería el Universo bajo ciertas condiciones; para comprobar o rechazar la validez de sus hipótesis a través de los datos observacionales.

Los modelos cosmológicos tienen postulados: Uno, es el llamado "**principio cosmológico**" que establece la homogeneidad del espacio. Según este, el aspecto de Universo es el mismo independientemente del lugar en que se encuentre el observador. Pero otro postulado, el del "**principio cosmológico perfecto**", va más lejos. Dice que el Universo debe parecer igual a todo observador, en cualquier punto y en cualquier época, Este soporta la teoría del **Estado Estacionario del Universo** que propone que el Universo debe verse idéntico desde cualquier lugar y no debe experimentar cambios en el tiempo. Si la teoría del Estado Estacionario es válida, conforme se expande el Universo, se mantendría constante la densidad de materia

del Universo e igual la proporción de galaxias viejas y jóvenes a lo largo y ancho del espacio, como condición necesaria para que el aspecto del Universo no varíe en el tiempo. Pero hasta hoy no se ha logrado ninguna evidencia al respecto, ni de la creación continua de materia ni de sea uniformidad.

Si en lugar de ambos postulados, sólo se cumple el primero el Universo sería finito y con la expansión, estadísticamente los astros se estarían separando, independientemente del movimiento propio que tenga cada sistema. Esto implica un Universo en evolución expandiéndose y se atenuando la atracción gravitatoria. Como la velocidad de la expansión del Universo depende de esta fuerza y de la energía inicial del mecanismo que la ha generado, dependiendo de la cantidad de materia disponible, podría contraerse de nuevo.

El valor de la desaceleración del Universo (parámetro de frenado  $q$ ) depende de dos números: la constante de Hubble y la densidad de materia en el espacio. Según sea el valor de  $q$  se tendrá la forma del Universo evolutivo cerrado o abierto.

- **El Principio Antrópico.** Es una noción casi metafísica según la cual, si el Universo no hubiera incorporado las constantes fundamentales para permitir la vida inteligente, no existiría quién pudiera informar de sus propiedades.

### 12.3. PROYECTOS SETI.

SETI, significa Search for ExtraTerrestrial Intelligence. En busca de vida inteligente, más allá de la Tierra, y de un puente de comunicación, tal como soñaron Tales de Mileto, Pitágoras, Anaximandro, Epicuro y Demócrito, en contravía al pensamiento de Platón y Aristóteles quienes conciben a la especie humana como el Centro del Universo, hoy se acepta esta posibilidad y desde 1988 se despliegan esfuerzos independientes y mancomunados para intentar un resultado positivo.



El cálculo especulativo sobre esa posible comunicación, parte de un inventario probable de 100 mil millones de estrellas en nuestra galaxia, de las cuales el 10 % puede tener en promedio 10 planetas, y uno de ellos con condiciones aceptables. Suponiendo se desarrolle la vida en 1 de cada 1000, habría un potencial de 10 millones de civilizaciones probables. Pero se supone para el planeta promedio una duración de 10 mil millones de años, de los cuales sólo durante 1000 millones de años su civilización puede establecer el puente de comunicación. Esto es, ahora podrían existir en la galaxia 10 millones de civilizaciones. Pero agréguese a esto la idea de que la zona propicia de la galaxia excluye zonas por la radiación intensa de su centro y por la carencia de elementos pesados en su periferia. Así, aunque el número final de civilizaciones probables se reduce, sigue siendo alto.

La **Ecuación de Drake** llamada **Fórmula de Green Bank**, evalúa el número **N** de civilizaciones tecnológicas capaces de un puente de comunicación, en nuestra Galaxia, así:

$$N = N^* f_p n_e f_1 f_i f_c f_L$$

Dónde: **N\*** es el número de estrellas en la Vía Láctea, **f<sub>p</sub>** es la fracción de estrellas con planetas, **n<sub>e</sub>** es número de planetas por sistema, en condiciones biológicas favorables, **f<sub>1</sub>** es la fracción de planetas en los que efectivamente surge la vida, **f<sub>i</sub>** es la fracción de planetas habitados por vida inteligente, **f<sub>c</sub>** es la fracción de planetas con vida inteligente y con civilización tecnológica, y **f<sub>L</sub>** es la fracción de tiempo de vida planetaria en la que la civilización podría enviar señales útiles. Las fracciones son porcentuales.

#### 12.4. LAS TEORIAS COSMOGONICAS

Cuatro teorías principales explican el origen del Universo. Las tres primeras (Explosiva 1ª y 2ª y la Estacionaria), aceptan el Universo en expansión; la 4ª lo considera de radio constante, y por lo tanto, no acepta la Ley de Hubble, según la cual, si retrocedemos en el tiempo, disminuiría el radio del Universo y la materia estaría comprimida.

**Explosiva 1ª o del Big Bang (Gran explosión):** dice que hace 15000 millones de años, materia y energía se comprimían en un superátomo radiactivo al máximo, donde la concentración de neutrones llegaba a una densidad de 1000 millones de toneladas/cm<sup>3</sup>. Su explosión desintegra los neutrones para formar protones y electrones y luego los elementos.

Bajo el presupuesto de que nacen aquí el Espacio y el Tiempo, no cabe preguntar qué existía antes, como tampoco tiene sentido hablar de qué hay más allá de los confines del actual Universo. Igualmente el lugar, en que se registra la gran explosión, está hoy en todas partes.

**Explosiva 2ª:** sólo difiere de la anterior al suponer que en la gran explosión se formó el H. Elementos **más allá del Hidrógeno se forman en las estrellas**, y más pesados que el hierro, pasando la materia por la onda de choque de las supernovas.

La diferencia entre estrellas de la Población I y II advierte que hay generaciones de estrellas. Las primeras (jóvenes y blancas) tienen elementos más pesados, ya que se formaron con productos de nucleosíntesis anteriores (residuos de estrellas que explotaron). El Sol sería de 2ª o 3ª generación.

Para ambas teorías hay dos posibilidades: que la actual densidad media de la materia supere un valor crítico, de tal manera que la gravedad domine en el futuro la expansión del Universo, obligándole a su

**contracción.** Así el Universo sería pulsante. O bien, que la densidad media de la materia no alcance el valor crítico, por lo que las fuerzas de **expansión** dominarían, cayendo a un Universo abierto. Si en el primer caso, la curvatura del Espacio-Tiempo resulta positiva (Riemann), en el segundo resultará negativa (Lobachevski).

**Teoría Estacionaria:** supone que el aspecto del Universo es el mismo en cada época (uniformidad en el tiempo); ello supondría el nacimiento de nuevas galaxias y por tanto de nueva materia (un átomo de H al año en cada  $5 \text{ Km}^3$  de volumen).

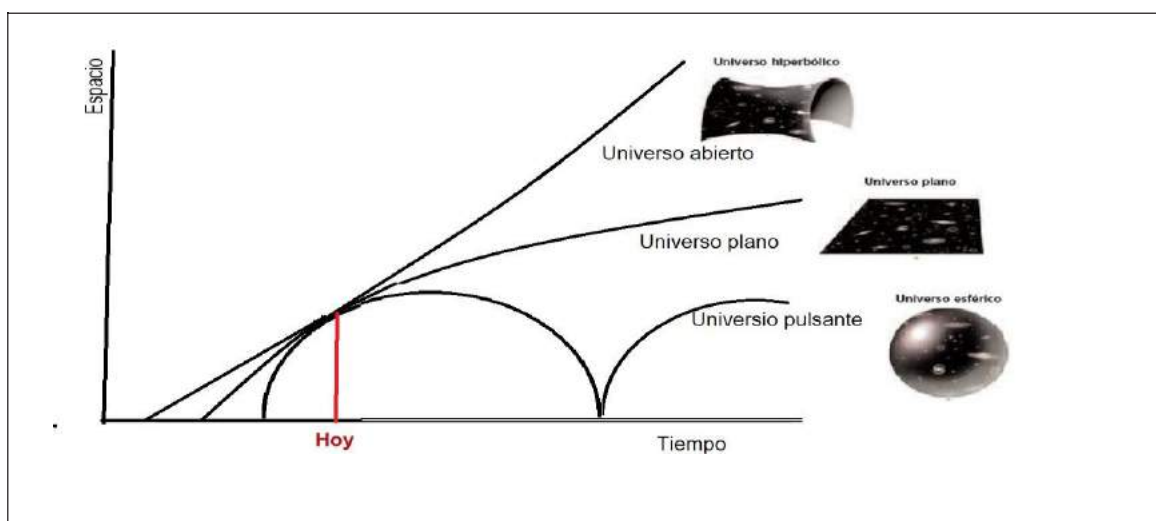


Figura 12.2. Curvas de expansión de un Universo finito: obsérvese que la velocidad o relación espacio/tiempo cambia, en especial en el Universo pulsante.

Conforme se expande el Universo y conforme retrocedemos en el tiempo, la densidad de galaxias resulta inmodificable. Ni habría principio ni habrá fin; sería un Universo **eterno y uniforme**, pero en continua expansión.

**Una contrapropuesta:** nace en el principio de Mach, según el cual las partículas elementales aumentan de masa con sus interacciones. A mayor tiempo mayor número de interacciones, mayor masa en las partículas elementales y por lo tanto mayor atracción gravitatoria en el interior de los átomos y en todas las macroestructuras atómicas. De lo anterior se desprende que el Universo no se expande, simplemente sus componentes materiales disminuyen en tamaño. El desplazamiento al rojo que observa el astrónomo mide su empequeñecimiento y el de su telescopio. En tales circunstancias, el radio del Universo es infinito, y para serlo, debe ser eterno.

## 12.5. EDAD DEL UNIVERSO

Aún los astrónomos no saben con exactitud la edad del Universo y menos si éste es cerrado o abierto. La mayor parte admite que tenga 15 mil millones de años, y prácticamente, todos admiten que se originó a partir de la gigante explosión.

Una de las pruebas del Big Bang es la expansión que se deduce al observar el corrimiento al rojo de las galaxias lejanas, hecho que nos lleva a un origen de materia comprimida si retrocedemos en el tiempo. En tales circunstancias deberíamos observar la luz de la gran explosión y deberían existir unos determinados desechos en la composición química del Universo, a causa de las reacciones nucleares ocurridas durante el paroxismo.

Ambas **evidencias** se tienen, de un lado la radiación de fondo de  $3^{\circ}\text{K}$  y de otro, las grandes cantidades de helio y las concentraciones de deuterio, isótopo del hidrógeno, que está presente en todo el Universo en una proporción de 20 a 30 partes por millón, confirmando que la temperatura, tres minutos después de la explosión, estaba en el justo punto para facilitar que los núcleos de deuterio se formaran, pues en las estrellas no pueden porque los enlaces de un neutrón con un protón (deuterio) no son muy fuertes.

En cuanto al origen del Universo caben **tres posibilidades**: 1) el Universo existía de alguna forma antes del Big Bang. 2) El Universo fue creado en un instante determinado. 3) Tanto el propio tiempo como el espacio fueron creados con el Big Bang.

Ninguna de estas posibilidades conduce a aclarar por qué la **curvatura media** del espacio tiempo es tan próxima a cero. Las observaciones actuales nos dan un error en la masa del Universo, entre diez veces y la décima parte de un valor crítico, que se correspondería con curvatura cero. De no ser así, la velocidad con la cual se ha expandido en los inicios (**tiempo de Planck**) no hubiese alcanzado un justo valor cercano al valor crítico, con una precisión de uno por  $10^{60}$ , que permitiera el que la materia no se disipe tan velozmente, como para no permitir la formación de galaxias, ni tan lentamente, como para que la gravedad hubiera interrumpido rápidamente la actual estructura que ofrece el Universo.

Posiblemente, la mayor dificultad que se puede afrontar hoy el problema de la edad del Universo, es la de los cálculos que permiten obtenerse con evidencias directas e indirectas: Las segundas conducen a estimar una edad del orden de los 12.5 mil millones de años, mientras las observacionales muestran objetos ubicados a distancias en al, mayores que esa cuantía. Conforme se han determinado, con mayor precisión las distancias a las galaxias más lejanas, se hizo necesario modificar la constante de Hubble. Como bien es sabido, ella está dada por el cociente de la velocidad de recesión de una galaxia y la distancia a la misma, en años luz.

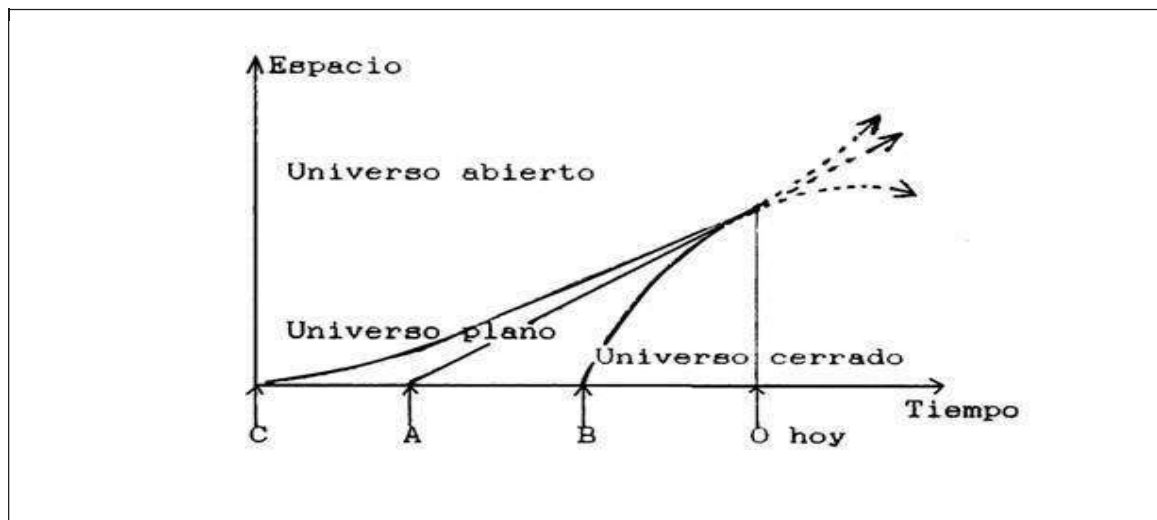


Figura 12.3. Edades de los Universos finitos: OA tiempo de Hubble ( $1/H$ ); OB tiempo cósmico, Universo abierto; OC tiempo cósmico Universo cerrado.

Si la distancia que nos separa de la galaxia B es el doble de la que nos separa de la galaxia A, entonces la galaxia B se está alejando de nosotros con una velocidad que el doble de la velocidad de la galaxia A. Esta relación, conocida como la Ley de Hubble, se puede expresar así, siendo **H** la constante de Hubble:

$$\text{Velocidad de recesión} = H \times \text{distancia}$$

(Como  $v = d/t$ , el inverso de la constante H será tiempo).

En el capítulo anterior se ilustró la Ley de Hubble, mostrando la expansión relativista del Universo. Se desprende de la fig. 11.12 de la guía anterior, que existe un límite para el Universo observable, constituido por los cuerpos que viajan a la velocidad de la luz.

Trabajando en el tejido de expansión del Universo, para conocer su distancia, con el valor  $H = 65 \text{ Km/s} \times \text{Mpc}$ , donde la velocidad alcanza el límite  $c$ , tenemos:

$$300000 \text{ Km/s} = 65 \text{ Km/s} \times \text{Mpc} \times \text{Radio del Universo visible}$$

Teniendo en cuenta que 1 parsec equivale a una distancia de 3.26 años luz, a fin de obtener el valor del tiempo por la antigüedad de lo observado, calculamos la distancia a la cual se encuentran los objetos más antiguos y lejanos, así:

$$\text{Radio del Universo visible} = 300000/65 \times 10^6 \times 3.26 \text{ años luz}$$

$$\text{Radio del Universo visible} = 15000 \text{ millones años luz}$$

De esta manera, la edad del Universo, correspondiente a la constante de Hubble de  $65 \text{ Km/s} \times \text{Mpc}$  y dada por el inverso de dicha constante  $H$ , es el Tiempo de Hubble, así:

$$\text{Tiempo de Hubble} = 15000 \text{ millones años}$$

Rehaciendo los cálculos indicados, con los valores de las distancias aceptadas actualmente, el **tiempo de Hubble** es superior a la edad del Universo. En tal caso el Universo sería abierto. Esto dado que la constante de Hubble parece tener un valor de  $71'39 \text{ Km/s} \times \text{Mpc}$ , tal cual se señaló en el aparte 11.4.

Surge, ahora un nuevo problema, los datos confirmados por otras determinaciones astronómicas, como la presencia de halos galácticos con materia poco luminosa, sugieren que nuestro Universo sería el descrito por la Teoría de la Relatividad General, y que se corresponde con un espacio cerrado. En tal caso su densidad, necesariamente, debe superar un valor crítico, para que el espacio sea cerrado y limitado.

A partir de datos astrofísicos disponibles en la actualidad, aquella densidad supera en una o dos veces a la densidad media de la materia condensada en estrellas y galaxias. Ello conduce entonces a la posibilidad de que exista materia perdida en el espacio cósmico, en forma de agujeros negros, por una cuantía de entre 10 y 100 veces la materia observable.

Si en el futuro se pudiera llegar a afirmar que esa masa perdida no existe en realidad, habría que realizar una profunda revisión de las concepciones teóricas actuales a pesar de su magnífica cohesión lógica y múltiples comprobaciones de validez.

## **12.6 CIEN AÑOS DEL UNIVERSO DE EINSTEIN**

Entre 1915 y 1916, tras formular la teoría de la Relatividad General, Albert Einstein desarrolla el primer modelo matemático del universo. Se trata de un universo estático, homogéneo e isótropo a gran escala, para el cual introduce la Constante Cosmológica, soportada en el Principio Cosmológico según el cual el universo observado desde cualquier lugar, siempre tiene la misma apariencia.

Einstein resolvió sus ecuaciones, modelando la materia como un fluido de partículas homogéneamente distribuido en el espacio, e introduciendo su constante como una modificación a su ecuación original del campo gravitatorio, necesaria para conseguir una solución ajustada a un universo estático.



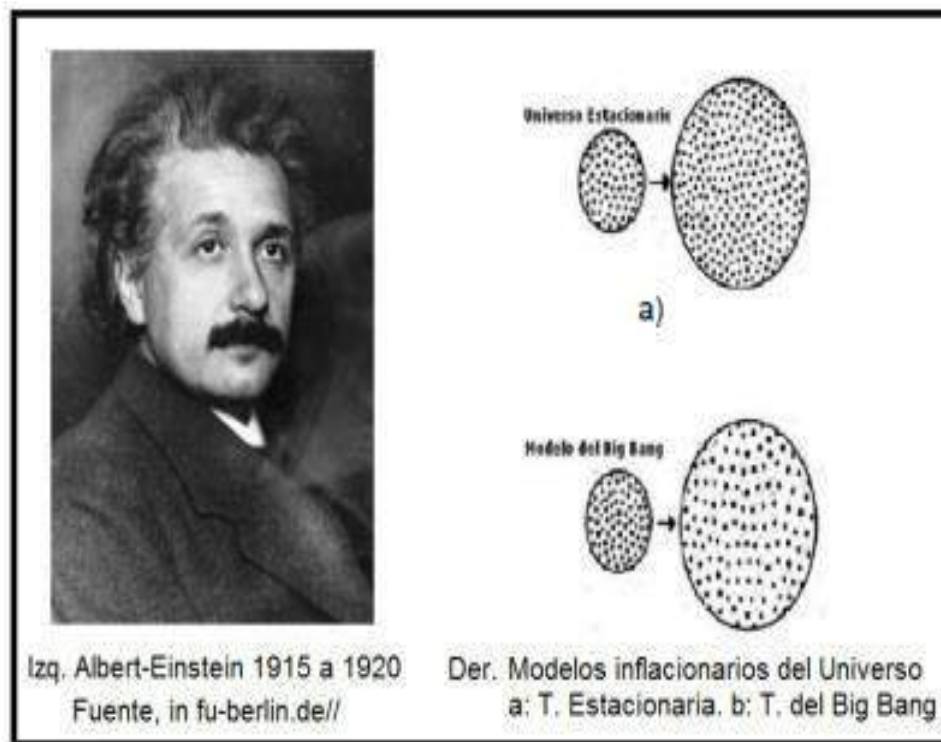


Figura 12.4 El Universo de Albert Einstein. Tomada de fu.berlin.de y [www.galeon.com/guiaastronomica/](http://www.galeon.com/guiaastronomica/)

Dicha visión completamente revolucionaria sobre un universo relativista, donde la materia, el espacio y el tiempo están interconectados, y en el cual la gravedad se interpreta como una curvatura del espacio-tiempo, causa escepticismo general al presentar hipótesis que exigían mayores pruebas. El responsable de verificar una hipótesis fundamental de dicha teoría, en la que uno de los científicos más importantes del siglo XX pronosticaba la curvatura de la luz en un campo gravitatorio, fue Stanley Eddington, quien a petición de la Real Sociedad observa el fundamental hecho en el eclipse del 29 de mayo de 1919, desde la isla Príncipe en la costa este de África.

Al conocerse en la conferencia de Eddington la prueba del efecto gravitacional causado por el Sol en la trayectoria del rayo de luz, el titular del New York Times del 6 de noviembre de 1919, dice: “Descubierto un nuevo universo”, noticia que hace célebre a Albert Einstein de la noche a la mañana, y que consolida la Relatividad General como una teoría que resuelve de forma definitiva problemas fundamentales de la física clásica.

Una década después, en 1929 el padre de la cosmología observacional Edwin P. Hubble, al encontrar el corrimiento al rojo en el espectro de las galaxias distantes descubre la expansión relativista del universo, un fenómeno que permite advertir además del movimiento propio de estas enormes islas de estrellas, otro movimiento asociado a la dinámica del espacio-tiempo que las contiene y arrastra.

Frente a la evidencia de que el universo se está expandiendo, y que los cálculos teóricos mostraban que en relatividad general un universo estático era imposible, aunque eminentes astrónomos mantenían su teoría del Estado Estacionario, afirmando que el universo al no cambiar su apariencia con el tiempo tampoco tendría principio ni fin, surge como contraposición la teoría del Estado Inflacionario del universo, propuesta de Bondi y Gold según la cual si el universo se expande como un todo, se requiere la creación continua de materia para que la densidad permanezca constante y su apariencia se mantenga.

Posteriormente, gracias a los trabajos de físicos notables como Alexander Friedman en 1922 y Georges Lemaître en 1927, quienes utilizan la teoría de la relatividad para demostrar la dinámica del universo observada por Hubble expresada en ecuaciones que describen un universo que puede expandirse o contraerse, en 1948 el físico ucraniano George Gamow soportado en la teoría del Núcleo Primordial de Lemaître, construye la teoría del Big Bang en la que plantea que el universo había surgido de una gran explosión.

La prueba definitiva a favor del Big Bang vino con el descubrimiento de la radiación de fondo de microondas al detectarse en 1965 una radiación de fondo omnidireccional con características térmicas, y recientemente con el COBE que puesto en órbita en 1989 logra medir la temperatura residual de esa gran explosión primigenia, y con otros instrumentos que han a detectar las anisotropías de los vestigios del evento que da origen a un universo homogéneo e isótropo lleno de materia ordinaria, el cual podría expandirse indefinidamente o frenar su expansión lentamente, hasta producirse una contracción universal, denominada el Big Crunch.

Hasta acá, este centenario del “universo determinístico” de Einstein, importante hoy como punto de partida para el nuevo “universo probabilístico” de la mecánica cuántica, donde la incertidumbre consustancial a la naturaleza tiene leyes que la gobiernen, máxime ahora cuando la Constante Cosmológica incorpora un papel fundamental en la ciencia del mundo: según las observaciones obtenidas aplicando técnicas recientes se ha conseguido determinar un valor diferente de cero para dicha constante, y su papel como materia oscura en la expansión acelerada del universo.

## 12.7. EL UNIVERSO DE HAWKING

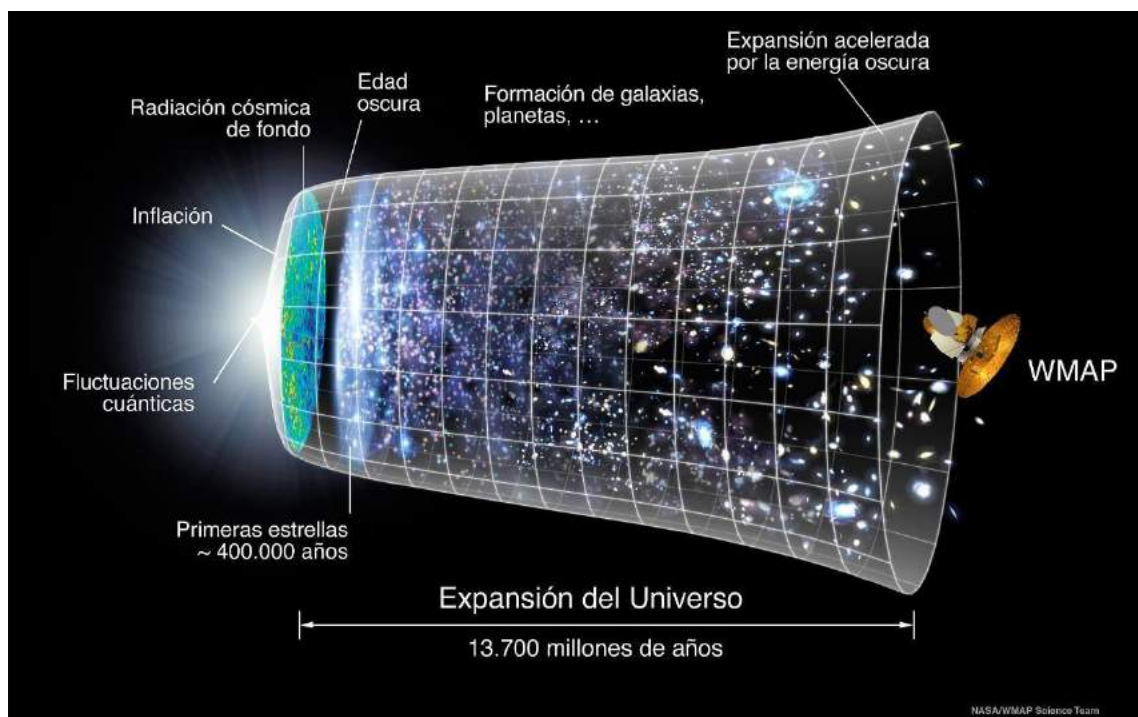


Figura 12.5. La expansión del universo en: <https://cienciacronica.wordpress.com>

En 1981, Stephen Hawking va a al Vaticano para recibir la medalla Pío XI que le otorgara la Academia Pontificia de Ciencias bajo el presupuesto de que su teoría cosmológica contemplaba el origen temporal del Universo, lo que ponía en firme la idea de la creación.

La conferencia para esta ocasión incluye otra idea diferente, en la cual admite la extensión finita de espacio y del tiempo, pero ambos cerrados sobre sí mismos, sin fronteras ni bordes.

El modelo HH propuesto por Hawking y Hartle, alude al estado cuántico del Universo inicial, para el cual establece su función de onda. Con el tiempo virtual se le aplica al Universo los principios de la mecánica cuántica, durante el Big-Bang, lo que se conoce como la Teoría del Todo.

El estado de Hawking-Hartle- es esencialmente una propuesta de un Universo sin límites, en el cual, cuando se inició el Big Bang el tiempo no existía y por lo tanto tampoco el espacio-tiempo asociado con el Big Bang, y la posterior expansión del universo en el espacio y el tiempo. Véase para el efecto: Stephen Hawking

En las indagaciones de la cosmología cuántica, se elimina la singularidad que hace fracasar a la mecánica cuántica antes de terminar el tiempo de Planck, cuando el Universo está aún comprimido, por lo que no puede predecir el espacio-tiempo, aunque si pueda describir su evolución posterior.

Ahora bien, la cosmología por regla general, debe asumir para sus asuntos un punto de partida y esto equivale a condicionar sus resultados, porque sólo podría afirmarse que ahora las cosas son como son porque antes fueron como fueron.

Edwin Schrödinger concibió la Ecuación de Onda que resuelve la dualidad onda partícula de un rayo de luz. Este produce interferencias como si fuera onda, pero también colisiona con electrones como si fuera partícula; y lo mismo ocurre con los electrones.

Así que esa ecuación es aplicable a ondas de luz que actúan como partículas y a partículas que actúan como ondas de luz, aunque a pesar de la ecuación de onda, nunca podamos saber con exactitud donde se encuentra en un momento dado una partícula elemental, de la cual solo podremos especificar la probabilidad de que se encuentre en diversos lugares de la nube probabilística.

Los Universos probables obedecen a la relatividad general y los posibles son los puntos de partida. En el modelo H H solo se eligen universos sin límites de espacio y tiempo. Y estos son los que resultan congruentes con las actuales observaciones de nuestro Universo.

El modelo H H, cambia el concepto de universo determinístico por universos probables o al menos le asigna a este Universo una función de onda con el cual se le puede estimar la probabilidad de una cierta geometría.

Ahora bien, los universos de curvatura positiva, son los que pueden satisfacer la restricción de ser finitos pero ilimitados, capaces de expandirse y luego, contraerse, y en ellos el límite o frontera se puede establecer en el tiempo real. La componente imaginaria del tiempo que había servido para resolver la singularidad del Big-Bang, y útil para resolver la del Big-Crunch, resultará continua.

En 1995 dice Hawking, el Universo empieza de modo regular y ordenado, antes del estado inflacionario con el Big-Bang, para culminar después en la singularidad del Big-Crunch, de forma irregular y caótica. Allí terminará el tiempo real pero el Universo continuará existiendo. Así, en esta teoría se predice un universo más probable que otros a diferencia de los que predice la Teoría General de la Relatividad. Y el más probable es cerrado, y uniforme, Es un universo que supone Inflación, Fluctuaciones Cuánticas y Principio Antrópico.

Con la **Inflación**, término de 1970, se resuelven al tiempo dos problemas: el de la tendencia del Universo a la curvatura cero y el de la uniformidad de la radiación de fondo. La primera debida a la alta velocidad de expansión cuando el radio del Universo era de unos 10 m. Lo de la radiación de fondo, porque durante los primeros 300 mil años del Universo, se preservaron las condiciones iniciales de homogeneidad, al mantenerse integradas la radiación y la materia.

Desde 1989 hasta 1992 el proyecto COBE, en el que participa el astrónomo colombiano Sergio Torres, consigue identificar los rizos de la radiación de fondo, asociados a las pequeñas variaciones de densidad que parece dan origen a las galaxias.

Esas **Fluctuaciones Cuánticas**, anomalías que la inflación del Universo no puede anular, quedan impresas como cambios del orden de las cien millonésimas de grado en la temperatura en la radiación omnidireccional.

## 12.8. EL MISTERIOSO LADO OSCURO DEL UNIVERSO

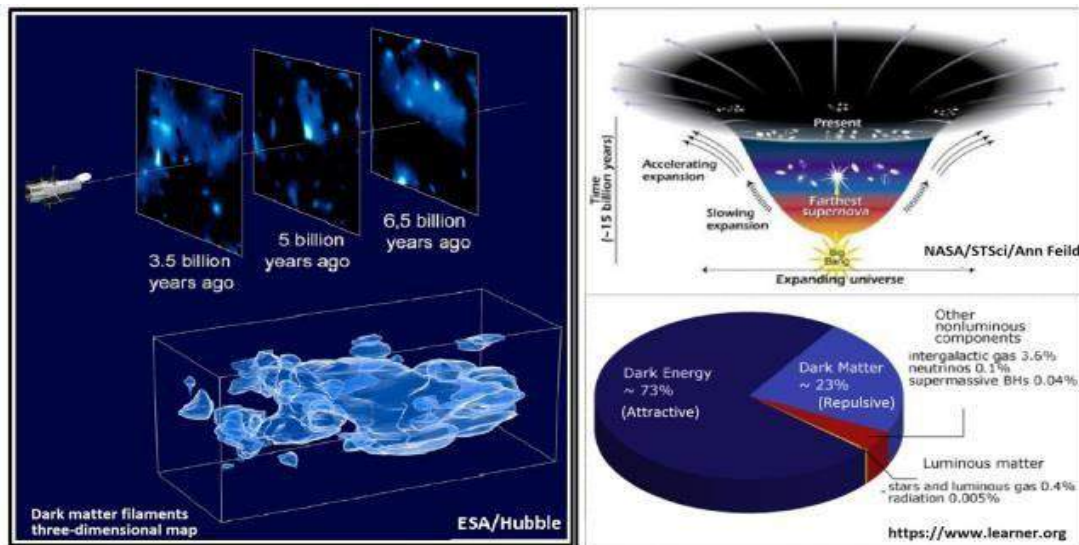


Figura 12.6 Materia oscura. In: <https://www.spacetelescope.org> and <https://science.nasa.gov>

Cuando se estima que el universo se constituye en un 73 % de energía oscura, 23 % de materia oscura y 4 % de materia bariónica o en forma de átomos, de conocerse esa materia oscura que se rastrea tanto en laboratorios desde el espacio como en complejos subterráneos, la astronomía podría dar origen a una revolución comparable a la de tránsito del Medievo al Renacimiento, en tiempos de Nicolás Copérnico (1473-1543) quien sustituye el modelo geocéntrico que consideraba la Tierra centro del universo por el heliocéntrico, o la de hace un siglo cuando el universo pasa a describirse como un todo mediante la teoría de la gravitación de Albert Einstein (1879-1955) que sustituye la gravedad Newtoniana por la curvatura del espacio-tiempo cuya expansión relativista descubre Edwin Hubble (1889-1953) observando los espectros de extrañas nebulosas, que resultan ser otras galaxias ubicadas más allá de la Vía Láctea, alejándose de nosotros a velocidades crecientes.

Pero ¿en qué anda la Cosmología moderna?: primerio, tenemos las teorías de Stephen Hawking (1942), quien intenta aunar la relatividad general con la teoría cuántica, e instituye ideas sobre los agujeros negros y el origen del tiempo, en las que argumenta que el universo no tiene bordes y propone el tiempo imaginario, al sostener que en lugar de una singularidad del espacio-tiempo forman una superficie

cerrada sin fronteras. Y segundo, la hipotética existencia de una materia oscura que no emite radiación alguna, inferida de las observaciones fundamentales de la astrónoma estadounidense Vera Rubin (1928-2016), pionera en la medición de la rotación anómala de las estrellas dentro de una galaxia, ya que si en el Sistema Solar según las leyes de Newton y Kepler la velocidad de rotación planetaria decrece conforme aumenta la distancia al Sol como centro de masa, mientras en las galaxias se mantiene.

Para conocer la dificultad de obtener evidencias de dicha materia oscura, recordemos cómo las ondas gravitacionales que predice en 1916 Einstein, apenas fueron detectadas un siglo después, en 2015, cuando esos rizos o vibraciones en el espacio-tiempo que viajan a la velocidad de la luz, pudieron ser encontrados mediante un gran instrumento óptico de precisión desarrollado por los institutos tecnológicos Caltech y MIT en el marco del proyecto de un Observatorio de Interferometría Láser de Ondas Gravitacionales LIGO. El detector subterráneo LIGO con sus brazos ortogonales de 4 km de longitud que comenzó a construirse en 1999, al lograr sus primeras observaciones entre 2001-2007 debió actualizarse para hacerlo una máquina 10 veces más potente, capaz de identificar las ondas gravitacionales cuyas variaciones equivalentes a una diezmilésima parte del diámetro de un átomo, transformarán la astronomía porque el universo es casi transparente a ellas.

Volviendo a la materia oscura: cuando otros astrónomos confirman que a nivel de las galaxias, también las estructuras estelares giraban de una manera inesperada, tal cual lo observa Vera Rubin al encontrar que la velocidad de las estrellas continúa igualmente tan alta en la periferia como en el centro de la Vía Láctea, se formula la hipótesis de la materia oscura diseminada de forma no uniforme y a gran escala, estimándose según dicha teoría que de la masa total de nuestro universo la mayor proporción estaría conformada por otra clase de materia cuya naturaleza desconocemos, ya que apenas se ha mapeado su ubicación en torno a las galaxias gracias a que con su gran masa desvía la luz procedente de objetos distantes y brillantes no visibles que las interfiere, al actuar la materia oscura como lentes gravitacionales.

Incluso, si desde principios del 2000, se propone la existencia de una energía oscura uniforme, que al ejercer una presión negativa en el espacio-tiempo similar a la de la constante cosmológica, explicaría la actual expansión acelerada del universo, también sabemos que la materia oscura, que no son neutrinos, ni átomos, ni materia oscura, es todavía un gran misterio.

Al igual que el Bosón de Higgs que teóricamente desde 1964 nace para explicar el origen de la masa de las partículas elementales, solo hasta 2012 pudo comprobarse su existencia con el acelerador de partículas CERN, similarmente el tipo de partículas fantasmas que componen la materia oscura, esperan ser capturadas por sensibles detectores, para desentrañar su misteriosa naturaleza y abrir una nueva era en el conocimiento del universo.

[Ref.: La Patria- Manizales, 2019.01.16]

## 12.9. TEORÍA M: CUERDAS Y BRANAS

La Teoría de Cuerdas es un modelo fundamental de física teórica, que considera las partículas materiales como "estados vibracionales" de un objeto extendido más básico, llamado "cuerda" o "filamento", y no como un simple punto material. A diferencia de un punto, que no puede hacer nada más que moverse en un espacio tridimensional, una cuerda puede oscilar de diferentes maneras. Esta teoría, ampliada con otras como la de las supercuerdas o la Teoría M que comentaremos adelante, pretende alejarse de la concepción del punto-partícula.

$$\frac{\partial}{\partial a} \ln f_{a, \sigma^2}(\xi_1) = \frac{(\xi_1 - a)}{\sigma^2} f_{a, \sigma^2}(\xi_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(\xi_1 - a)^2}{2\sigma^2}\right)$$

$$\int_{R_n} T(x) \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} f(x, \theta) dx = M \left( T(\xi) \cdot \frac{\partial}{\partial \theta} \ln L(\xi, \theta) \right)$$

$$\int_{R_n} T(x) \cdot \left( \frac{\partial}{\partial \theta} \ln L(x, \theta) \right) \cdot f(x, \theta) dx = \int_{R_n} T(x) \cdot \left( \frac{\partial}{\partial \theta} \frac{f(x, \theta)}{f(x, \theta)} \right) \cdot f(x, \theta) dx$$

$$\frac{\partial}{\partial \theta} \int_{R_n} T(x) f(x, \theta) dx = \int_{R_n} \frac{\partial}{\partial \theta} T(x) f(x, \theta) dx$$

Figura 12.7: El campo de las matemáticas puras: Fórmula matemática aleatoria que lo ilustra.

<https://commons.wikimedia.org>

Según la Teoría de Cuerdas, a cada membrana de infinitas membranas que existen en la undécima dimensión, le corresponde un universo como el nuestro. La dificultad de esta teoría, a pesar de que su



consistencia teórica se logra al reducir de 26 a 11 el número de dimensiones de un espacio físico de 10 dimensiones espaciales y una temporal, en lugar de tres y una en su orden, está en su carácter de protociencia dado que considera dimensiones no observadas.

Para entender algo de la Teoría M, veamos estos conceptos:

**El Modelo Estándar**, es una teoría relativista de campos basada en las ideas de la unificación y simetría, que describe la estructura fundamental de la materia y el vacío considerando las partículas elementales como entes irreducibles, cuya cinemática está regida por las cuatro interacciones fundamentales conocidas.

**La Teoría Cuántica de Campos**, es una disciplina de la física que aplica los principios de la mecánica cuántica a los sistemas clásicos de campos continuos, por ejemplo, el campo electromagnético, desarrollada entre las décadas de 1920 y 1950 por Dirac, Fock, Pauli, Tomonaga, Schwinger, Feynman y Dyson, entre otros.

**La Inflación Cósmica**, es un conjunto de propuestas en el marco de la física teórica que explica la expansión ultrarrápida del universo en los instantes iniciales, para resolver el llamado problema del horizonte, que es el problema de determinar por qué el Universo parece estadísticamente homogéneo e isótropo de acuerdo con el principio cosmológico.

**La Teoría de las Supercuerdas**, una de las mejores teorías candidatas para formular una teoría cuántica de la gravedad, integra las partículas y fuerzas fundamentales, que modela unas y otras como vibraciones de delgadas cuerdas supersimétricas, en un espacio-tiempo de más de cuatro dimensiones.

Volviendo a la Teoría M, se trata de una teoría física, propuesta desde los años 80 por Edward Witten a partir de la teoría de cuerdas, como una "teoría del todo", dado que su propósito es la unificación de las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza., aunque no es una teoría con aceptación universal. Los trabajos de Witten en lo fundamental han estado relacionados con la teoría cuántica de campos y la teoría de cuerdas, y en áreas de la topología y la geometría.

En dicha Teoría M donde las partículas son cuerdas vibrando a cierta frecuencia se requiere de un espacio-tiempo con al menos diez dimensiones espaciales, intervienen como objetos físicos fundamentales, no sólo cuerdas unidimensionales que vibran, sino también una variedad de objetos no perturbativos denominados branas o membranas, extendidos en un universo multidimensional. La Teoría M, que no está completa, la supergravedad combina el principio de supersimetría y relatividad general como una teoría de campos, interactuando entre membranas de 2 a 5 dimensiones, y la existencia de infinitos Universos paralelos.

La idea del Bulto supone que el universo visible de cuatro dimensiones está limitado a una brana que hace parte de un espacio de dimensionalidad superior llamado el Bulto, que contiene otras branas y con las cuales interactúa mediante efectos no vistos en los modelos cosmológicos estándar. De ahí el porqué de la debilidad de la gravedad como la más débil de todas las fuerzas, tal cual lo señalamos al describir las fuerzas fundamentales en el numeral.

Son dos los grupos de teorías basados en la cosmología de branas: el primer grupo mezcla aspectos de la Teoría M que unifica las cinco teorías de las Supercuerdas, con la Cosmología Inflacionaria, y un segundo grupo, que está basado en la cosmología de la Teoría M sin recurrir al Modelo Inflacionario. En los modelos basados en el choque de branas, a diferencia de los modelos inflacionarios, cada brana ya existía antes del Big Bang. En los modelos basados en la Cosmología Inflacionaria se considera un universo infinito donde se forman branas como burbujas, como consecuencia de fluctuaciones cuánticas.

### Lecturas complementarias N°12:

<p><u><i>Desarrollo y revoluciones tecnológicas.</i></u></p> <p><u><i>Educación con-ciencia para el desarrollo.</i></u></p> <p><u><i>El inestable clima y la crisis del agua.</i></u></p> <p><u><i>El ocaso de la universidad pública.</i></u></p> <p><u><i>El porqué de los aguaceros en Colombia.</i></u></p> <p><u><i>Estrategias de divulgación científica para Colombia.</i></u></p> <p><u><i>La dimensión cultural como catalizadora del desarrollo.</i></u></p>	<p><u><i>Albert Einstein en los cien años de la Teoría de la Relatividad.</i></u></p> <p><u><i>Día mundial del medio ambiente: El Universo.</i></u></p> <p><u><i>Newton: de Grecia al Renacimiento.</i></u></p> <p><u><i>Urbanismo en la Aurora ¿ecocidio en Río Blanco?</i></u></p> <p><u><i>Videos de Samoga.</i></u></p> <p><u><i>Yuma, el río de Colombia impactando el territorio.</i></u></p>	<p><u><i>Peajes sí, pero no así y menos ahí.</i></u></p> <p><u><i>Pobreza y ruralidad cafetera</i></u></p> <p><u><i>Reflexiones sobre el POT de Manizales.</i></u></p> <p><u><i>Sobre Río Blanco: los derechos y la reserva protectora.</i></u></p> <p><u><i>Temas rurales para la ecorregión cafetera.</i></u></p> <p><u><i>Territorios para el desarrollo socioambiental regional.</i></u></p> <p><u><i>Tiempo y Calendarios.</i></u></p>
--	---	---

...

UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
COLOMBIA (1867-2017)



**GUÍA ASTRONÓMICA**

Gonzalo Duque-Escobar

MANIZALES, 2020

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3252>

Anexo 1: Colombia tropical: ¿y el agua qué?.	Anexo 12: La Luna
.	.
Anexo 2: Calentamiento global en Colombia	Anexo 13: Cultura y Astronomía (C&A)
.	.
Anexo 3: Aspectos geofísicos y amenazas naturales en los Andes de Colombia.	Anexo 14: Astronomía en La Edad Media y el Renacimiento.
.	.
Anexo 4: El camino a las estrellas.	Anexo 15: Sol, lunas y planetas.
.	.
Anexo 5: Isaac Newton.	Anexo 16: Manual de geología para ingenieros
.	.
Anexo 6: Albert Einstein.	Anexo 17: Riesgo sísmico: los terremotos.
Anexo 7: Stephen Hawking.	Anexo 18: CTS, Economía y Territorio.
Anexo 8: Geotecnia para el trópico andino.	Anexo 19: Cultura y Turismo en Caldas.
Anexo 9: Preservación Ambiental e Hídrica del Paisaje Cultural Cafetero.	Anexo.20: El Río Cauca y el desarrollo de la región.
Anexo 10: Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial.	Anexo 21: Videos: Temas de Astronomía y Medio Ambiente.
Anexo 11: Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia.	Anexo.22: UMBRA: la Ecorregión Cafetera en los Mundos de Samoga.
Enlaces U.N.: Textos “verdes”	<u>El Autor:</u> <b>Gonzalo Duque-Escobar</b>

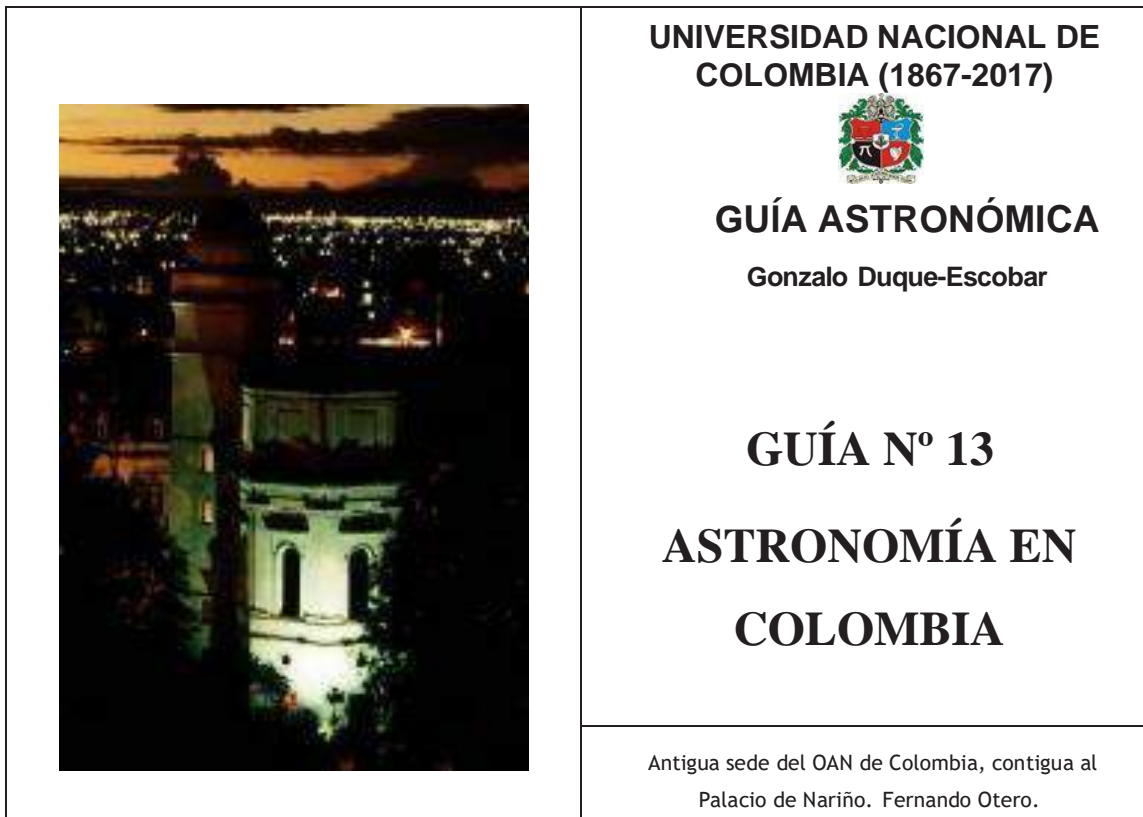
**HOME:**

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3252>

CONTENIDO: PRESENTACIÓN. GUÍA Nº 1. HISTORIA DE LA ASTRONOMÍA. GUÍA Nº 2. COORDENADAS ASTRONÓMICAS. GUÍA Nº 3. ELEMENTOS DE MECÁNICA PLANETARIA. GUÍA Nº 4. TIEMPO Y CALENDARIOS. GUÍA Nº 5. EL SISTEMA SOLAR. GUÍA Nº 6. SOL, LUNAS Y PLANETAS. GUÍA Nº 7. COSMOGRAFÍA. GUÍA Nº 8. ELEMENTOS DE ASTROFÍSICA. GUÍA Nº 9. LAS ESTRELLAS. GUÍA Nº 10. LAS GALAXIAS. GUÍA Nº 11. EL UNIVERSO. GUÍA Nº 12. TEORÍAS COSMOGÓNICAS. GUÍA Nº 13. ASTRONOMÍA EN COLOMBIA. BIBLIOGRAFÍA

**A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.**





## PERFIL HISTÓRICO DE NUESTRA ASTRONOMÍA

### 13.1 DE LOS MUISCAS A LA COLONIA

Si hubo algún desarrollo, entre todas las culturas precolombinas de Colombia se destaca la cultura muisca, dado que sólo en el Altiplano Cundiboyacense se desarrolló un mercado. Con el desarrollo de la agricultura se evalúa el de los calendarios, pues éstos están en la base de toda civilización. Entre sus deidades están Chiminigagua, Xue y Chía, que en su orden representan el propio origen del Universo, el Sol y la Luna, además de Bachué (madre del género humano) y Bochica (principio del bien). Según la Calendárica de los Muiscas, obra de J.D. Duquense de La Madrid, 150 años después de la conquista, el

calendario muisca poseía una base jeroglífica con reglas para medir el tiempo, y una tabla de años y símbolos para los siglos. El año de 354 días era de base lunar, y se dividía en 12 meses.

No obstante, a pesar de lo anterior y de los desarrollos en la importante estatuaria de la cultura de San Agustín, Huila, y del significado de los emplazamientos agustinianos, según Jorge Arias de Greiff dice, no existe registro alguno de un saber que permita hablar de “historia de la ciencia precolombina”.

En 1492, la hazaña de Cristóbal Colón presenta un gran desafío para la Navegación y la Cartografía. Con la aparición de las carabelas, se alejan los navegantes de los mares para entrar a la inmensidad de los océanos, donde no es viable la navegación por cabotaje. Se aprovechan las corrientes oceánicas, mismas que de regreso traen maderas desconocidas a las costas africanas y europeas anunciando tierras del otro lado, e invitando a lanzarse arriba del trópico de Cáncer; pero la deriva de la carabela a causa de la extensa corriente, lleva a Colón unos 18 grados abajo, llegando al Caribe. Más aún, sabiéndose evaluar la latitud observada en la altura de la Polar, para la época no se podía estimar la longitud necesaria para obtener la distancia a un puerto como Cádiz.

Por lo tanto, frente a las nuevas exigencias para la navegación, en adelante se erigirán los observatorios, se capacitará a los marinos en astronomía y se elaborarán efemérides precisas, para soportar la expansión de los mercados entrando por los océanos. Así y todo, no habiéndose inventado el reloj móvil para las observaciones desde las embarcaciones en movimiento -el cronómetro-, el puntero para el navegante es la Luna, astro de complejos y muy lentos movimientos para los cuales falta una teoría, la que sólo se hará posible después de la Teoría de Newton con los desarrollos de la mecánica celeste. Si bien la Casa de la Contratación de Sevilla es la primera institución oficial creada el año de 1503 para el conocimiento de los saberes náuticos, donde se empieza a calificar a los pilotos navales en el arte de la navegación oceánica, y el Real Observatorio de Greenwich se crea en 1675 por el Rey Carlos II, el invento del cronómetro por Harrison llega apenas en 1726: sextante, cronómetro y efemérides, serán más tarde el instrumento de navegantes y exploradores para las rutas comerciales en los albores de la

revolución industrial.

Entrando a esta América, en 1704 el Padre Louis Feuillée, perito hidrógrafo de origen francés, levanta la bahía de Santa Marta y le da latitud. Observa además, en compañía de Couplet, el eclipse lunar del 3 de Agosto de 1704; en 1705 levanta en planos el Castillo de San Felipe de Barajas de Cartagena de Indias y en 1711 explora las costas de Perú y Chile. Don Juan de Herrera y Sotomayor, gobernador del castillo e ingeniero de fortificaciones del virreinato, observó seis eclipses de Luna y varias emersiones de los satélites galileanos entre 1719 y 1726; además determinó la latitud de Cartagena y de Panamá. Con esta información, desde París y desde Greenwich, Edmond Halley y Giovanni Cassini obtienen por separado la Longitud de Cartagena de Indias.

Después de Felipe V quien crea la Armada Real en 1719 y el Observatorio de Cádiz en 1717, llegan Fernando VII y Carlos III. Continúa Carlos IV, quien pierde la Armada al mando del almirante británico Horatio Nelson, con el preámbulo en San Vicente y con la derrota definitiva en Trafalgar (1805). El Rey Carlos III creyó que la ilustración debía traer prosperidad a los súbditos de España, y para el efecto privilegiando los intereses de los comerciantes, buscó un Estado fuerte y eficiente. Contrariamente, Carlos IV hace la contrarreforma en favor de los intereses de los terratenientes, y con ella acentúa el feudalismo aboliendo las libertades otorgadas a los poblados y limitando los derechos a los burgueses.

Según Jorge Arias de Greiff, aunque en la Nueva Granada el criollismo logró frustrar los avances del Estado y la posibilidad de modernizar la economía, las luces del siglo XVIII entraron para abrir el camino a los siglos XIX y XX. Con la reconstrucción borbónica de España, para la política española del siglo XVIII, América debe ser un proyecto rentable y autoabastecido, y auto-defendible. Sus recursos deben ser conocidos, estudiados y comercializados. Para el efecto, se crean tres Expediciones Botánicas: la del Perú (1777), la de La Nueva España (1785) y la de La Nueva Granada (1783). Ésta tercera, encomendada a José Celestino Mutis.

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

En 1770 la Armada Real despliega una enorme actividad de reconocimiento hidrográfico y costero en América. Así en 1790, con la expedición del napolitano Malaspina al servicio de España, se determinan varias posiciones astronómicas en el Pacífico colombo- ecuatoriano. Simultáneamente, la expedición Hidalgo entra al Caribe, levanta las Antillas y 30 puntos de la costa de Colombia y Panamá. Pero con el desastre naval de la Real Armada en 1805, fecha en la que iniciará el Sabio Caldas como astrónomo del virreinato de la Nueva Granada, aquella interrumpe 15 años de labores continuas.

En 1783, el sacerdote y científico español José Celestino Mutis (1732-1808), da inicio a la real Expedición Botánica del nuevo Reino de Granada, cuya misión es explorar la flora y fauna nativa en parte del territorio nacional. Sobresale la obra pictórica conformada por cerca de seis mil dibujos y acuarelas de la escuela de dibujo organizada por Mutis para registrar gráficamente las plantas y flores recolectadas por la Expedición, y de la cual hacía parte artistas como Salvador Rizo y Matís.

Dicha obra sustraída en 1817 por Pablo Morillo durante la reconquista de las colonias americanas se traslada al real Jardín Botánico de Madrid, donde hoy se conserva.

### **13.2. FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS (1768-1816).**

Fray Domingo de Petrés quien había llegado de España para la reconstrucción y reparación de los templos santafereños averiados por el terremoto de 1785, por orden de Mutis emprende el 24 de mayo de 1802 la construcción del Observatorio Astronómico en el Jardín de la antigua Casa Botánica, sede de la Expedición., para concluir las entre 1803 y 1804.

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]



*Figura 13.1. Amadeo Bonpland y Alejandro de Humboldt en el Orinoco. Grabado coloreado de H. Lademann, sobre dibujo de Otto Roth, 1870.*

<https://www.socialhizo.com>

El prócer de la independencia nace en Popayán, donde estudia con José Félix Retrepo; se traslada a Bogotá, se gradúa bachiller en jurisprudencia y se dedica al comercio entre ambos lugares, para lo que cruza valles y páramos entre los poblados de relevancia de la época. Por su espíritu investigador, se hace a literatura e instrumentos de medida, como barómetro y termómetro, y aparatos astronómicos. Después de haber determinado la latitud de Popayán y haber hecho observaciones sistemáticas de alturas con barómetro, en 1797 Caldas hace trabajos cartográficos por triangulación topográfica y determinaciones de latitudes en lugares recurriendo a observaciones astronómicas, como las que sirvieron a Alexander von Humboldt y Aimé Bonpland para elaborar el mapa del río Magdalena.

El 22 de Diciembre de 1798, F. J. de Caldas observa la ocultación del primer satélite galileano y en 1800 se dedica a la botánica, habiendo desarrollado su método del cálculo de las alturas en función de la variación del punto de ebullición del agua.

En 1800, el naturalista alemán Alejandro Humboldt (1767-1835) llega a tierras de Venezuela y Trinidad, determina latitudes y longitudes en varios lugares de los llanos colombo- venezolanos, viaja luego a la Habana, regresa a la Nueva Granada, e igualmente determina las coordenadas del Fuerte San Felipe en Cartagena de Indias y observa el eclipse de luna del 29 de Marzo en Barú, para tomar el camino del Río Magdalena, entrar a Santa Fé de Bogotá, regresar al Tolima, y por el Quindío, cruzar la cordillera Central colombiana rumbo a Popayán, Quito, Guayaquil y Lima.



[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

Humboldt le recomienda a J.C. Mutis ocupar a F.J. de Caldas como Astrónomo en el Observatorio que se construirá en Santa Fé, según diseño de Fray Domingo Petrés inspirado en los observatorios astronómicos de París y Greenwich, mientras Caldas viaja por su lado a Quito para entrevistarse con Humboldt y allí se entera de la importante obra.

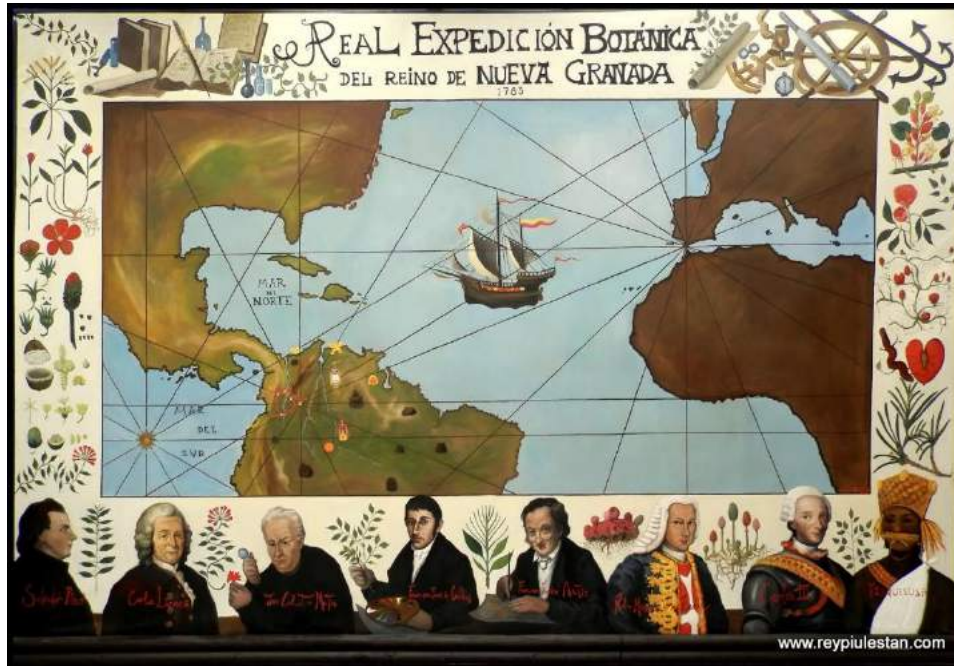


Figura 13.2. Mural sobre La Expedición Botánica de la Nueva Granada, en 1763.  
Reypiulestan.com

Se vincula Francisco José de Caldas a la Expedición Botánica y como tal recorre el norte del Ecuador. En 1805 regresa a Santa Fé, portando además del valioso herbario, equipos astronómicos para inaugurar y poner en marcha el Observatorio Astronómico cuya construcción se había iniciado en 1803. Trae Caldas instrumentos como el cuarto de círculo de Bird y el péndulo de Graham, útiles para añadir a la lista de los equipo guardados por Mutis durante 20 años. En 1805 Mutis encarga la dirección del Observatorio al sabio payanés.

A partir de 1805, América cuenta ya con un Observatorio Astronómico fijo, el primer observatorio al frente del cual ejerce como Astrónomo Francisco José de Caldas, quien desde allí obtiene la latitud del histórico lugar de observación, estimándola en  $4^{\circ} 36' 06''$ ; también determina la altitud de Bogotá y por observación, desde el Observatorio Astronómico, la del Nevado del Tolima. Además hace observaciones meteorológicas, de eclipses y de emersiones e inmersiones de satélites referidas al Meridiano de Bogotá y, finalmente, otras observaciones para concluir con la refacción de los almanaques de 1811 y 1812.

Vienen los sucesos de La Independencia y se involucra Caldas en los del 20 de Julio de

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

1810, como subdirector del Diario Político. Posteriormente, después de la guerra civil entre los federalistas (Caldas lo es) y los centralistas (como lo es Antonio Nariño), cuando Caldas debe refugiarse en Antioquia, aparece la insurrección de Bolívar al servicio de las provincias unidas y, tras el saqueo y los destrozos ocasionados a Santa Fé y la capitulación, regresa a esta ciudad.

Con las acciones del Rey Fernando VII contra Caracas y Santa Fé, en 1816 el ejército de la reconquista al mando del Pacificador Pablo Morillo toma a Cartagena y se traslada a Santa Fé, mientras Juan Sámano que viene de Quito y avanza por el occidente, captura a Caldas, lo lleva a Popayán y de allí a Santa Fé, donde es sacrificado el 28 de Octubre de 1816. Entre tanto por orden del militar pacificador, el Observatorio Astronómico queda en manos del alcalde Benedicto Domínguez, y se publica la lista de libros secuestrados a Francisco José de Caldas y los faltantes para que la gente los retorne.

Entra en la escena José María Lanz (Joseph) nacido en Campeche en 1764, quien viaja luego a España y Francia donde estudia ciencias naturales. En 1781 entra a la Academia de Guardias de Cádiz, institución perteneciente a la Armada Real, donde destaca en ciencias. Como miembro de ésta, participa en campañas por Cuba y México, y trabaja en el Atlas Marítimo hasta 1788, en el Observatorio de Cádiz y en los astilleros del Norte de España. El Real Observatorio de Cádiz era uno de los observatorios astronómicos más avanzados de la época. Retirado J. M. Lanz en 1794, pasa a Francia donde se dedica al estudio y a la enseñanza, se hace coautor de un texto inédito de cálculo diferencial y en 1808 publica un ensayo sobre la comprensión de las máquinas.

Vive Lanz en París con Boussingault, de quien recibe sendos barómetros de Fortín y cronómetros de Breguet para utilizarlos en la Carta Geográfica de la Gran Colombia, objeto del llamado Proyecto Zea conformado por Rivero (director), Boussingault, Roulin, Bourdon y Goudot y Lanz, siendo entonces Santander el Vicepresidente de la nueva república. Después de la liberación de la Nueva Granada en agosto de 1819, Bolívar había nombrado al general Francisco de Paula Santander vicepresidente de la Nueva Granada. Ya en Santa Fé de Bogotá, Lanz recibe el Observatorio Astronómico: en su inventario no aparecen el cuarto de círculo ni el péndulo que Caldas trajo de Ecuador, aunque Jean Baptiste Boussingault afirma haberlos visto en el Observatorio Astronómico en 1823, al lado del telescopio reflector donado por el Rey de España.

En 1824 se inaugura el Museo de Historia Natural con la Escuela de Minas adjunta, e inicia el proyecto. La sede del primero es la Casa de la Botánica de Mutis, en cuyo solar está el Observatorio Astronómico. En 1827 se entrega el trabajo “Atlas de la Gran Colombia” en 12 planchas para los 12 departamentos: Istmo, Magdalena, Zulia, Guayaquil, Aznay, Venezuela, Apure, Orinoco y Maturín, Cundinamarca, Boyacá, Cauca y Ecuador; además, un mapa general. Según Jorge Arias de Greiff, las fuentes del Atlas de la Gran Colombia son las publicaciones del Depósito Hidrográfico de Madrid, el Atlas de Humboldt, los mapas de Maldonado, Caldas, Talledo y Anguiano, y los mapas publicados en Londres en 1811 y 1819, por Arrowsmith.

El Vicepresidente Francisco de Paula Santander, en sus propósitos educativos toma el plan de la Universidad Pública de la propuesta de Moreno y Escandón. Así con la Ley del 18 de Marzo de 1826, se crea la Universidad Central y también la Academia Nacional. Francisco de Paula Santander designa como miembros de la Academia Nacional a Pedro Acevedo, Vicente Azuero, Andrés Bello, José María del Castillo y Rada, Benedicto Domínguez, José Fernández Madrid, Pedro Gual, Joseph Lanz, Cristóbal Mendoza, José Joaquín Olmedo, Santiago Pérez de Valencia y Arrollo, Manuel Benito Rebollo, José Félix de Restrepo, José Rafael Revenga, José María Salazar, Francisco Soto, Mariano de Talavera, Jerónimo Torres, Estanislao Vergara y Francisco Javier Yanes. Esto es, con lo más granado de la intelectualidad, las artes, la ciencia y la política de entonces, crea Santander la Academia Nacional.

Simón Bolívar tras concluir la campaña del Perú, llega a Bogotá en 1826. El gobierno anexa en 1828 el Observatorio al recién creado Museo Nacional el más antiguo de Colombia y uno de los más antiguos de América, cuya historia se remonta a 1823, año de su creación, y nombra como Director de ambas dependencias al abogado Benedicto Domínguez.

Al llegar Simón Bolívar del sur, todo el proyecto de Santander se derrumba, pues el prócer recelaba del modelo constitucionalista de EE.UU., nación que apoyaba estas acciones de modernidad y liberalismo propias de un régimen soportado en un parlamento de base civil conforme a las ideas renovadoras de la revolución francesa, y que tanto incomodaban a los absolutistas identificados con los intereses de las empresas terratenientes. Así este proyecto de educación y ciencia, deberá esperar hasta 1832 cuando en el segundo régimen de Santander se reorganiza por decreto la Academia Nacional con nuevos nombres, entre ellos Joaquín Acosta, Rufino Cuervo, Juan María Céspedes, Lino de Pombo y José María Triana.

Si la primera empresa para la consolidación de la naciente república fue la del proyecto educativo de Santander, iniciado con las reformas de 1826, la segunda es la Comisión Corográfica de Colombia encomendada al geógrafo e ingeniero militar Agustín Codazzi, quien tenía la misión de levantar la carta geográfica general del país y elaborar los mapas de cada una de sus provincias. Nace así en 1849 la Misión Corográfica para describir e inventariar los recursos, y el soporte de los registros espaciales lo obtiene de las fiables diferencias de longitud y de las latitudes obtenidas por Francisco José de Caldas, Joaquín Francisco Fidalgo y Alexander Humboldt. Es evidente que estas actividades Astronómicas ya no tienen la demanda de antes, cuando la inmensidad de los territorios lo exigía a los navegantes y colonizadores en épocas del descubrimiento y de los bastos imperios a colonizar.



Figura 13.3. La Nueva Granada en 1821. Expedición Corográfica de Codazzi. Wikipedia

En la cartografía de Antioquia y en su prospección minera y geológica, sobresalieron Tyrrel Moore y el capitán de ingenieros Carl von Greiff, mientras en el registro de las cumbres del sur de Colombia y el levantamiento del oriente del país, los geólogos Reiss y Stübel. La figura principal en la cartografía es su director, el coronel Agustín Codazzi, quien ha elaborado un extraordinario trabajo geográfico en Venezuela, y luego recorre Colombia durante dos lustros para que su trabajo inconcluso lo culminen algunos miembros de la propia Misión Corográfica.

Ya en la segunda mitad del siglo XIX, por su interés en la ciencia aplicada merece mención el médico, y jurista payanes CARLOS ALBÁN (1844-1902). Este inventor, entre otros aportes propone en 1872 una nueva clasificación de los metales; patenta un equipo en Bruselas para identificar metales y otro en Estados Unidos para levantar cualquier peso; construye un telescopio refractor de veinticinco pulgadas, un reloj y un espejo de luz trifocal y un equipo para producir vacío sin necesidad de la válvula de aire; trabaja la neumática, la reflexión de la luz y la metalurgia, campo en el cual desarrolla una tela o envoltura metálica para globos aerostáticos, la que presenta en 1887 al Ministerio de

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

Industria de Colombia, y le facilita a Ferdinand von Zeppelin diseñar dirigibles rígidos en la década de 1890, optimizando con ello el uso de los dirigibles autopropulsados que aparecen desde mediados del siglo XIX.

El Colegio Militar (1848) y el Cuerpo Central de Ingenieros del Estado (1866), según Jorge Arias de Greiff, ponen en evidencia: el interés de los criollos del radicalismo por conocer la patria y una demanda social que explica el surgimiento de los primeros atisbos de instituciones. En 1827 el Observatorio Astronómico se encomienda a Benito Osorio. En 1928 se anexa aquel al Museo de Historia Natural, y en 1829 la dirección del Museo y del Observatorio pasan a Benedicto Domínguez, hasta 1832 cuando la dirección de uno y otro, y del Laboratorio Químico, pasan a Joaquín Acosta hasta el año de 1837. Durante la anterior década las observaciones meteorológicas han sido el objetivo del Observatorio Astronómico.

Desde 1840 hasta 1848, año en que se anexa el Observatorio al Colegio Militar, la dirección del Observatorio había sido encomendada a Francisco Javier Matiz. En el Colegio Militar, obra de Tomás Cipriano de Mosquera, se preparan Ingenieros Militares y Civiles, y de él salen personajes como Cornelio Borda y Don Indalecio Liévano. Pero en 1854, durante el gobierno de José María Melo en el que se da la imposición de medidas librecambistas en la República, se cierra el Observatorio Astronómico quedando en el abandono y encomendándosele su vigilancia a un artista.

De 1859 a 1860 Cornelio Borda ejerce la Dirección del Observatorio; en 1862 Indalecio Liévano retoma su dirección. Durante 3 días, en la batalla de San Agustín de 1862, el Observatorio es utilizado como fortaleza militar por el ejército del general Leonardo Canal. También en 1866 repite Liévano, quien con José María González Benito crea el Cuerpo de Ingenieros del Estado al cual adscriben el Observatorio Astronómico para que retome además de la meteorología, la práctica de las observaciones de las ocultaciones, como también el cálculo de las alturas. En abril de 1867 después de clausurado el Congreso, designado en el poder de Santos Acosta y desatada la guerra civil, el Observatorio Astronómico funciona como cárcel del Estado para Tomás Cipriano de Mosquera, hasta el mes de noviembre. En el período se cancela el Colegio Militar, y docentes, alumnos y presupuesto pasan a la Universidad Nacional de Colombia, institución creada por la Ley del 22 de septiembre de 1867.

Concluida la función como prisión, en 1868 el Observatorio Astronómico se adscribe a la Universidad Nacional de Colombia y se le encomienda a José María González Benito, quien relaciona el centro con astrónomos de renombre y logra su dotación con instrumentos para aplicarlos al estudio riguroso de los astros, además de transferirle el contacto a la Escuela de Ingeniería, y con ella a la Sociedad Colombiana de Ingenieros. Así, al preparar en la astronomía a los ingenieros civiles de la Escuela, ellos aportarán durante su ejercicio profesional información útil para la elaboración del mapa del país, empresa aún por

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

desarrollar. De otro lado el propio Observatorio Astronómico se alimenta con el espacio académico que abre la Escuela a la enseñanza de la astronomía matemática y de la dinámica. Durante este periodo como Director, Gonzáles Benito publica los Estudios y Lecturas sobre Astronomía.

### 13.3. JOSÉ MARÍA GONZÁLEZ BENITO (1843-1903).

José María González Benito nace en Zipaquirá, donde trabaja con don Manuel Ponce en el levantamiento topográfico de las salinas y pueblos vecinos, y de él aprende el cálculo diferencial e integral cuando la educación era un asunto de relaciones personales antes que de la enseñanza formal. Dice Jorge Arias de Greiff que González Benito, ya como ayudante de Indalecio Liévano contribuye al trazado del ferrocarril de Zipaquirá a Nemocón. Posteriormente se traslada a Anolaima y ganando interés por la geología y la paleontología recorre la cordillera de Sumapaz hasta Tunja.

En 1862 Liévano lo emplea como su ayudante en el Observatorio durante un año, tiempo suficiente para que sume a sus intereses los de la astronomía y meteorología; entonces en 1864 se traslada a Europa donde conoce a Leverrier y a Bousingault como conferencistas, tomando más entusiasmo por la mineralogía y la astronomía, y consolidándose como una de las mentes más estructuradas de los albores de nuestra historia científica.

Regresa por tercera vez, José María González al lado de Indalecio Liévano, quien por segunda ocasión lo vincula al Observatorio Astronómico. Además, recibe el título de Ingeniero en 1866 y luego entra a conformar la Oficina Central del Cuerpo de Ingenieros por llamado del poder ejecutivo de la época.

También en 1868 se le nombra profesor de meteorología y astronomía en la Universidad Nacional, recibiendo del rector Manuel Ancízar el cargo de Director del Observatorio Astronómico, en el que dura poco ya que retorna a Zipaquirá para terminar los trabajos anteriores.

Después de producir una carta geográfica de la sabana y la altiplanicie de Bogotá, en 1871 retorna a la Universidad Nacional como profesor de geología y paleontología, y de ahí al Observatorio Astronómico por tercera vez asumiendo las cátedras de astronomía y meteorología. Entre sus alumnos están Francisco Montoya, Modesto Garcés, Ruperto Ferreira y Enrique Morales.

Trabajó José María González Benito con instrumentos suyos y de Indalecio Liévano en el Observatorio Astronómico sin cobrar sueldo, lo que, según dice Jorge Arias de Greiff, le hizo ganar recelos y provocó su retiro en 1872. Ya desde su casa observa lluvias de estrellas que reporta a Europa, pero en septiembre del mismo año y por cuarta vez se le

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

nombra por decreto del ejecutivo Director del Observatorio, como también profesor de astronomía y geodesia de la Escuela de Ingeniería.

Viajando a Europa como Cónsul, lo sucede Luis Lleras Triana en la Dirección del Observatorio, hasta el año de 1876. Este último morirá en la guerra de 1876 pero dejará un proyecto para instalar un ecuatorial y una cúpula giratoria en el Observatorio, y una recomendación sobre el instrumento meridiano y el péndulo sideral. También Lleras Triana, quien traduce la geometría de Legendré, pensaba intensificar el uso del sextante y del cronómetro por los ingenieros para la confección de nuestras cartas geográficas.

En 1875 regresa Jesús María González Benito al país como miembro acreditado de la "Royal Astronomical Society", y el Estado le compra un instrumento ecuatorial adaptado a la latitud de Bogotá, un anteojo de pasos meridianos, un teodolito astronómico, un anteojo de 5 ½ pies de distancia focal con montura altacimutal, y un espectroscopio de prismas. Además, se le encomienda la construcción de la cúpula giratoria sobre la escalera, concebida antes por Luis Lleras Triana.

En 1880 y por quinta vez vuelve al Observatorio Astronómico González Benito como su Director, con Ruperto Ferreira como su Subdirector. Reorganizan ambos el centro y aumentan su dotación en momentos en que el ambiente nacional es de interés por la ciencia, según se desprende de la conmemoración que se hace de la casa en que habitó Francisco José de Caldas y de la remodelación del edificio del Observatorio Astronómico.

Gracias a González Benito, en 1881 el Observatorio Astronómico cuenta con cúpula giratoria, un refractor de 16 cm y una estación meteorológica completa. Ese año al Observatorio se le designa una zona para la observación sistemática entre los paralelos 40° y 55°, con declinación norte, y por intermedio del reconocido Director se participa en la unificación del manejo de la hora, asunto del cual tratará el Congreso Mundial de Washington en 1884, durante el cual se adopta como "Meridiano Cero" el de Greenwich.

En 1882, aparece el primer número de los Anales del Observatorio Astronómico Nacional OAN, en Bogotá. También aparece ahora Abelardo Ramos, director de la revista Anales de la Sociedad Colombiana de Ingenieros, para atacar a González Benito y con ello lograr que no se le renueve el contrato como Director del Observatorio. Para el cargo propone al brillante joven Julio Garavito Armero, su alumno y quien se desempeña como profesor de ingeniería y geodesia en la Escuela de Ingeniería. Es que Abelardo Ramos proviene de la Escuela Americana, tiene una visión utilitarista de la profesión y encuentra en González Benito un personaje incómodo, propio del renacimiento y que no se ajusta al prototipo profesional del ingeniero "moderno" que de astronomía sólo debe conocer los

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

requerimientos de la cartografía sin distraerse en manchas solares, en lluvias de estrellas y en colas de cometas.

En 1885 el fabricante de relojes, Ing. Rafael Nieto Paris, es nombrado director del OAN, quien fabrica un reloj eléctrico ideado por él para realizar mediciones astronómicas en el Observatorio.

En 1891 es nombrado director el Matemático e Ingeniero de la Universidad Nacional de Colombia Julio Garavito Armero, considerado el científico en las ciencias exactas más destacado de nuestra historia.

Mientras, refugiado en su casa ubicada en el parque de los Mártires, González Benito construye allí un reconocido observatorio, equipado con un telescopio de 9,5 cm de diámetro y 1,65 cm de distancia focal, sobre montura ecuatorial. Luego, González Benito es presentado por Camilo Flammarion y Bouquet de la Grye a la Sociedad Astronómica de Francia haciéndose miembro de la misma en 1893 en calidad de Miembro Fundador. Pasada la Guerra de los Mil Días en 1903 González Benito propone la creación del Instituto de Colombia, reuniendo las Academias de Matemáticas, Ciencias Naturales y Ciencia Morales y Políticas; y muere ese mismo año a los 60 años de edad, un día antes de la inauguración del nuevo Instituto.

La Sociedad Colombiana de Ingenieros se había instalado en 1867 cuando su primer presidente, Abelardo Ramos, objetaba asignaturas como elementos de astronomía y geodesia por contemplar el término elementos, y en su defecto reclama una astronomía práctica para que los ingenieros contribuyan a las posiciones geográficas con la debida exactitud y detalle que permitan superar al Atlas de la Misión Corográfica.

Entre tanto la Sociedad Colombiana de Ingenieros publicaba en sus anales las efemérides astronómicas para lograr ese cometido. En el Número 57 publicado en 1892, Julio Garavito Armero presenta una serie de artículos titulada “Determinación Astronómica de Coordenadas Geográficas”, donde contempla los métodos más apropiados para determinaciones en latitudes bajas, usando teodolito de hilos micrométricos, lo cual modifica el método Talcott.

En 1902 se crea por decreto la Oficina de Longitudes, y entonces a partir de ahí todas las poblaciones del país referirán sus coordenadas al Observatorio Astronómico, creándose una única base para la definición geográfica del país. La Oficina de Latitudes cuenta entonces con las secciones de astronomía y geodesia, de topografía y de niveles, mientras la Oficina de Historia Natural cuenta las secciones de biología y de minería.



[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

Se usará el Método de Talcott modificado por Garavito y la señal telegráfica con el Observatorio Astronómico, para calcular y reportar las coordenadas a lo largo y ancho del país, con errores que deben ser inferiores a 0,3 seg de tiempo en longitud y a 0,5 seg de arco en latitud. Estos resultados se publican en 1918 y 1921.

El origen de La Oficina de Longitudes parte de la necesidad de delimitar la frontera con Venezuela, como consecuencia del laudo arbitral de la Reina regente de España, en 1891. Para determinar los puntos arcifinios y naturales que servirán de hitos, en nombre de la Sociedad Colombiana de Ingenieros, Ruperto Ferreira, Modesto Garcés y Julio Garavito elaboran un completo proyecto que incluye telegrafía portátil. Igualmente, la Oficina de Longitudes da posición astronómica a los hitos fronterizos con Brasil y Perú. Jorge Arias de Greiff destaca que el método de Garavito es un perfeccionamiento de uno ideado por el mexicano Díaz Cobarrubias y cuyo proceso de cálculo lo mejoró el insigne matemático venezolano Francisco José Duarte, en Venezuela.

El 20 de Agosto de 1903 en el Observatorio Astronómico se instala la Sociedad Geográfica de Colombia. En 1905 en la Escuela de Ingeniería se gradúan Tomás Aparicio, Belisario Ruiz Wilches y Jorge Álvarez Lleras. En 1934 por iniciativa de Belisario Ruiz Wilches se establece el Instituto Geográfico y Militar con el propósito de lograr la cartografía del País, a partir de la aerofotografía. Así surge Scadta abriéndose este camino pionero en América ya iniciado en Ecuador.

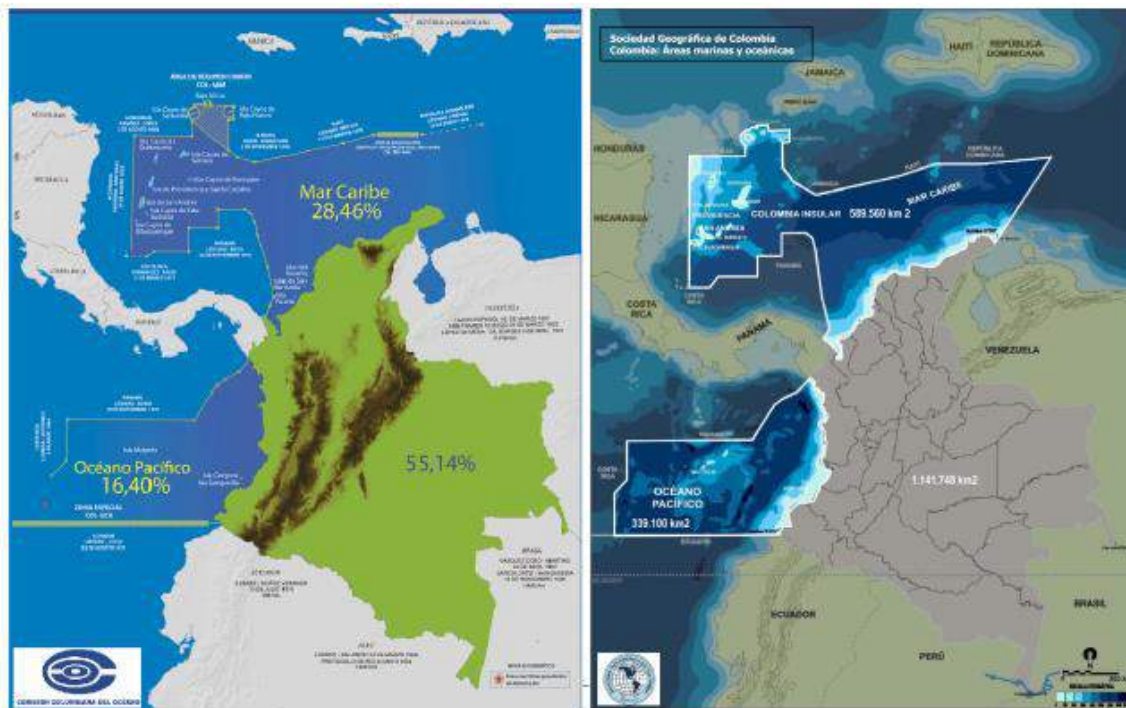


Figura 13.4: Extensiones y fronteras marítimas de Colombia. Comisiones Colombiana del Océano y Geográfica de Colombia.

Aparte de los instrumentos de Scadta, llega al Ministerio de Obras Públicas de Colombia un

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

estereoautógrafo marca Wild, y para la Facultad de Matemáticas e Ingeniería un aereocartógrafo marca Photogrametrie. Ambos equipos se instalan en el Observatorio Astronómico y más tarde se trasladan al Instituto Geográfico. De otro lado, para el soporte de la aereofotogrametría, se inicia el establecimiento físico de la red de apoyo, con lo cual la geodesia astronómica será la actividad fundamental para desarrollar una triangulación de primer orden a lo largo y ancho del país.

En 1930 Jorge Álvarez Lleras debe hacer una nueva determinación del Observatorio Astronómico para el datum, usando un antejo de pasos Gustav Heyde y un micrómetro modificado por la Casa Filotécnica de Milán, obteniendo  $4^{\circ} 35' 56''$  de latitud Norte (contra  $4^{\circ} 35' 55''$ .19 de Garavito en 1897) y  $74^{\circ} 04' 51''$ .30 de longitud Oeste. Hasta acá los trabajos del Instituto Geográfico Militar y Catastral, pues en adelante se recurrirá a métodos estandarizados y exógenos.

#### 13.4. JULIO GARAVITO ARMERO (1865-1920).

Volviendo a Julio Garavito Armero, este bogotano ingresa de 22 años a la Escuela de Ingeniería, y en 1891 se gradúa de profesor en Matemáticas y de Ingeniero Civil. Un año después, en 1892, es Director del Observatorio Astronómico y se le confieren las cátedras de mecánica racional y de astronomía en la Escuela de Ingeniería. Más adelante trabajará su Método Talcott y aportará a la geodesia, pero también tratará temas como la relatividad de Albert Einstein, y hará trabajos de astronomía observacional y de astronomía dinámica.

Aplica el método de Olbers para determinar las órbitas de los cometas de 1901 y 1910, usando registros de observación suyos. Preside la comisión para la observación del eclipse de Sol de 1916, visible en Quibdó, Medellín Puerto Berrío y Bucaramanga, para lo cual observa desde Puerto Berrío, y por telégrafo trabaja la parte analítica sobre esta actividad con Jorge Álvarez Lleras, Julio Garzón y Santiago Garavito y otros, en Medellín y Bogotá.

Pero señala Jorge Arias de Greiff que pasados los siglos XVII, XVIII y primera mitad del XIX, brilló Julio Garavito Armero en una de las mayores conquistas de la mente humana: la astronomía dinámica, materia que sirvió para la confección de las tablas y efemérides que prestaron apoyo a exploradores y navegantes. Según Arias de Greiff, valen las menciones de las teorías dinámicas de Jacobi y Hamilton aplicadas por Delaunay al movimiento de la Luna, así como los trabajos de Leverrier y Newcomb complementando las teorías del movimiento planetario, para ponderar el trabajo inconcluso del más importante astrónomo de la historia de Colombia, titulado “Fórmulas Definitivas para el Movimiento de la Luna”.

[\[Escriba aquí\]](#)

[\[Escriba aquí\]](#)

[\[Escriba aquí\]](#)

Además de haber logrado demostraciones originales de teoremas relativos al cambio de variables canónicas y trabajos empleando estas variables al método Hamilton–Jacobi para órbitas elípticas, y de haber desarrollado una expresión para el complejo "problema de los tres cuerpos", con las “Fórmulas Definitivas para el Movimiento de la Luna”, Julio Garavito quiso alcanzar un instrumento teórico de gran utilidad para preparar efemérides como complemento del cronómetro en la determinación de longitudes.

La mayor complejidad del ya difícil problema radica en la aceleración secular de la Luna, demostrada por el astrónomo inglés Edmond Halley, y en el tratamiento de los errores observacionales, dada la incertidumbre de la fuente que los explica. En 1802 el matemático francés Simon Laplace demuestra la fuente teórica de esa aceleración. En 1827 el francés Marie-Charles Damoiseau las calcula usando métodos numéricos. En 1832 el astrónomo Giovanni Plana elabora un método de rápida convergencia para obtenerlas. En 1846 el científico Pontecoulant (Louis Gustave le Doulcet) elabora otra teoría y hace lo propio por otro difícil camino.

En 1860 y 1867 el francés Charles Delaunay avanza en otro método elegante para representar el movimiento lunar instantáneamente, dado que algunos elementos de la órbita cambian continuamente. En 1864 el danés Peter Andreas Hansen se toma 30 años para desarrollar una teoría más práctica aunque menos elegante, la que se usa hasta 1920. En 1877 George William Hill trabaja una teoría usando un modelo ingenioso.

Finalmente, en 1896, aparecen los trabajos del norteamericano Ernst William Brown en los que se incluye un término empírico para ajustar los cálculos a la deriva del movimiento lunar observado, cuyas tablas finales salen apenas en 1919. Garavito Armero, que no conocía la naturaleza del movimiento, se ocupa en detallar la deriva explicándola como una función en términos del movimiento medio del Sol, y de la diferencia del movimiento de la Luna y el Sol; usa para el efecto la ecuación de la órbita variacional empleando el método de G.W. Hill que emplea coordenadas rectangulares, denominado por Poincaré “Soluciones Periódicas de Primer Género”.

Hubiera alcanzado su tarea Julio Garavito, pero muere en Marzo de 1920 a la edad de 54 años. Al entrar en escena los computadores se sustituyen los cálculos de tablas lunares para las efemérides basados en el empleo de los logaritmos: Wallace Eckert como director del laboratorio de la empresa Watson, dirigió la construcción de un número de computadoras innovadoras para realizar cálculos astronómicos, incluyendo la calculadora electrónica de la secuencia selectiva SSEC (1949) y la calculadora naval de la investigación de la artillería NORC (1954). Este profesor de astronomía y pionero de la computación también se hizo famoso por sus cálculos para las misiones Apolo a la Luna.

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

Por recomendación del Observatorio Astronómico, organismo con el cual Colombia adhiere a la Unión Astronómica Internacional en 1967, el nombre de Julio Garavito Armero se asigna al cráter de la cara oculta de la Luna ubicado en 47°,6 Sur y 156°,7 Este. Hoy 5 cráteres, éste y otros cuatro más vecinos, llevan estos nombres: Garavito S, C, D, Q, y Y.

El nombre de Francisco José de Caldas no quedó incluido por la restricción de la Unión Astronómica Internacional para los héroes militares, políticos y filósofos propuestos, con menos de 200 años de muertos; y así fue como se presentó la candidatura del “Sabio Caldas” por Jorge Arias de Greiff.

A la muerte de Garavito asume la dirección del Observatorio Astronómico Jorge Álvarez Lleras, después de realizar su viaje a EE UU y Europa en 1919 para conocer sobre el funcionamiento de los servicios meteorológicos, y con el propósito de organizar el Servicio Meteorológico Nacional creado en la Ley 74 de 1916.

Pero es época del gobierno de Marco Fidel Suárez, y el Observatorio será entregado a los religiosos del Observatorio del Ebro en España, como también el Servicio Meteorológico Nacional al Padre Simón Sarasola del Colegio San Bartolomé, a pesar de la polémica surgida por semejantes medidas, entre el gobierno y la Sociedad Colombiana de Ingenieros. En 1921 empezó la observación sismológica en Colombia, por iniciativa de los padres Enrique Pérez Arbeláez quien fuera el Fundador y Director del Observatorio Meteorológico Nacional del Colegio de San Bartolomé de Bogotá, y por el Padre Sarasola.

En 1930 cambia la suerte del Observatorio Astronómico con la llegada de Enrique Olaya Herrera al poder: el Decreto N° 1806 de 1930 reorganiza el Observatorio Astronómico Nacional y asume Jorge Álvarez Lleras su dirección y desarrolla el bitemiscopio de reflexión, un instrumento de utilidad para el estudio del eje polar y la rotación terrestre. Además, concluida la II Guerra Mundial, aparecen otros aparatos de las casas europeas que se originan en este proyecto.

Este discípulo y colaborador de Julio Garavito Armero publica a lo largo de su vida, innumerables obras matemáticas, astronómicas y económicas; pero en 1947 decae la salud de Álvarez Lleras, quien muere un lustro después.

Ahora el nuevo director del Observatorio Astronómico es Belisario Ruiz Wilches, quien ha pasado por el Instituto Geográfico, como uno de sus principales gestores, y de ahí a la Escuela de Ingeniería donde creó el Observatorio Geofísico. Desde el Observatorio Astronómico emplazado en los predios del actual Palacio de Nariño, Ruiz Wilches crea una estación astronómica en los predios de la Universidad Nacional de Colombia, equipada con

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

un telescopio Zeiss de 30 cm de diámetro y 300 cm de distancia focal, de montura ecuatorial adaptada; este instrumento comprado a Francia había pertenecido al Observatorio de Marsella.

### 13.5. ULTIMOS AÑOS: LA CREACIÓN DE LA ESCUELA.

La Universidad Nacional de Colombia construye una nueva sede del Observatorio en la Ciudad Universitaria de Bogotá, entre 1947 y 1952. La Universidad Nacional de Colombia, institución que tiene a su cargo el histórico Observatorio Astronómico de 1805, en su propio campus construye hacia 1947 un nuevo Observatorio que amplía en 1952, quedando adscritos ambos a su Facultad de Ciencias, y equipa la nueva sede con un refractor apocromático Zeiss-Secretan F15 con 4 elementos de 20 cm y 3 m de distancia focal y con un reflector Smith Cassegrain F10 de 16”.

Ahora la ciudad capital se ha expandido sobre los potreros y el brillo ciudadano ha contaminado el cielo por todos los costados del lugar, por lo que las posibilidades del modesto equipo han terminado completamente. En los años siguientes asume la dirección del Observatorio Astronómico Nacional Jorge Arias de Greiff, quien trabaja el proyecto de un observatorio ubicado finalmente en la vecindad del Parque Natural de los Nevados, aprovechando los espacios académicos de la reforma Patiño que amparada por el programa Alianza para el Progreso, priorizaba la incorporación de las disciplinas en una educación superior, antes centrada en las profesiones, como estrategia para abatir en el futuro el modelo de dependencia tecnológica.

Dentro de esa política, desde 1979 hasta 1984 el plan quinquenal sigue en marcha y bajo el liderazgo de Jorge Arias de Greiff se hace la prospección de los sitios potencialmente aptos en Colombia para montar un observatorio astronómico de importancia. Finalizando el gobierno de Belisario Betancur el proyecto alcanzó a ingresar al COMPEX y como fórmula de apalancamiento, el trueque cafetero sería la forma de pago para adquirir un telescopio en la República Democrática Alemana, equipado con un espejo de 100 cm de diámetro, tipo Ritchey-Chretien, para no repetir lo que hay en Venezuela. El lugar para instalar el preciado equipo, estaría 10 km al Este del Nevado del Tolima y 1 km al Norte de él.

Pero en 1986 durante el gobierno de Virgilio Barco, las prioridades internacionales en materia de políticas de desarrollo cambian del enfoque relacionado con la dependencia tecnológica hacia los problemas de las necesidades básicas insatisfechas, y también las del país en esta materia. Además, los sucesos del Palacio de Justicia y del desastre de Armero asociado a la erupción del Ruiz, y posteriormente la crisis del café que afecta a la Federación Nacional de Cafeteros quien había colaborado ya en el Planetario de Bogotá, hacen que el proyecto por esa vía que también exploró la Sociedad Julio Garavito como promotora del Planetario de Medellín, se detenga. Entonces mientras la suerte para Colombia queda limitada a las posibilidades de Colciencias, y alineada a sus

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

requerimientos el equipo de astrónomos del Observatorio Astronómico Nacional decide trabajar el desarrollo de sus programas de posgrado en tres líneas de investigación: Astronomía Fundamental, Astronomía Estelar y Astronomía Galáctica.

Como resultado de estas actividades, el Observatorio Astronómico cuenta ahora con una Especialización y una Maestría en Astronomía, además de un importante número de publicaciones en revistas indexadas fruto de la investigación, como de textos de astronomía y de otras actividades de apoyo y promoción de la astronomía, con reconocido liderazgo nacional. Posteriormente, se crea en Medellín el primer pregrado en Astronomía de país por la Universidad de Antioquia bajo el liderazgo del Astrofísico Jorge Iván Zuluaga, que inicia labores en 2009.

Entre otros hechos, merecen mención el proyecto para poner en órbita el primer satélite Libertad 1 logrado el 17 de Abril de 2007 por el Observatorio Astronómico de la Universidad Sergio Arboleda bajo la dirección del Astrónomo Raúl Joya O., la depurada técnica desarrollada para la captura de imágenes y videos de algunos cuerpos celestes por el Astrónomo Alberto Quijano V, en las observaciones del Observatorio Astronómico de la Universidad de Nariño, y la distinción que le ha hecho la Unión Astronómica Internacional al astrónomo colombiano Antonio Bernal González, al dar su nombre al asteroide 2005 AK del Cinturón Mayor que desde el 27 de abril de 2009 se denomina 198592 Antbernal, por su labor divulgativa y técnica en el Observatorio Fabra de la Asociación Astronómica de Castelldefels, en Barcelona. Posteriormente, el astrónomo venezolano *Ignacio Ferrín*, descubrió un par de asteroides en 2003, uno al que le asigna el nombre 366272 Medellín para celebrar el cumpleaños de esta ciudad, y otro el asteroide "34 79 40 Jorgezuluaga" como un homenaje a *Jorge Iván Zuluaga*, uno de los astrónomos colombianos que ha sobresalido en la formación y difusión de esta ciencia, tal cual lo acabamos de reseñar.

El 21 de noviembre de 2017, el Consejo Superior Universitario de la Universidad Nacional, bajo la rectoría del Dr. Ignacio Mantilla, creó el primer Doctorado en Astronomía en el país, programa con el que se consolida un ideal concebido por los profesores del Observatorio Astronómico Nacional (OAN) adscrito a la Facultad de Ciencias, y cuyo objeto es aportar al conocimiento en las ciencias astronómicas e impulsar el desarrollo tecnológico del país: la astronomía atmosférica para el estudio del clima tropical andino y la tecnología aeroespacial aplicada al tema de la cartografía y las comunicaciones, además de otros campos aplicados propios de la geofísica, e incluso la biofísica donde la astrobiología y la física de moléculas y células tienen competencias, justificarían el esfuerzo.

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

Hoy día, en Colombia sobresalen varios astrónomos y astrónomas, con oficio en reconocidos proyectos de varios observatorios y centros de investigación de las naciones más desarrolladas del planeta, y otros más que conforman grupos académicos debidamente acreditados en Colciencias, acometiendo labores que ponen en alto al país o que aportan a la construcción de la Nación. Por mencionar algunos: la Geóloga Planetaria Adriana C. Ocampo del “Jet Propulsion Laboratory” de Nasa, el Astrofísico David Ardila Arzayús, vinculado como investigador del telescopio espacial Spitzer y quien hizo parte del equipo de investigadores del COBE cuyos líderes recibieron el Nóbel de física en 2006, y el Cosmólogo Profesor Juan Manuel Tejero del Observatorio Astronómico Nacional de la U.N. de Colombia.

Para la organización de la astronomía del país, la Red de Astronomía de Colombia RAC propuesta en 1992 en Pereira y creada en 1993 en Barranquilla, congrega a cerca de medio centenar de grupos de astrónomos aficionados y profesionales de todo el país. También desde julio de 2006 Colombia ha creado la Comisión Colombiana del Espacio CCE, con el objeto de fortalecer el conocimiento sobre la Tierra y el espacio ultraterrestre mediante la utilización de tecnologías modernas que pretenden invertir en conocimiento geoespacial, y con la aspiración de lograr un satélite colombiano en 2011.

### 13.6. DOS LECCIONES Y DOS DESAFÍOS.

No parece equivocada una percepción que señale como los dos hechos científicos más relevantes en la corta historia de Colombia, de un lado, la Real Expedición Botánica del Nuevo Reino de Granada encomendada al sabio y eclesiástico español José Celestino Mutis (1732-1808), y del otro la Misión Corográfica para la naciente República encomendada al militar y geógrafo italiano Agustín Codazzi (1793-1859).

En el primer caso, si bien el sabio Mutis logró plasmar un valioso registro escrito y gráfico, de alta calidad, conteniendo un inventario de variados recursos naturales como la biota andina, entre otros, también hoy requerimos avanzar en una tarea similar que se ocupe de la extensión de ese conocimiento estratégico, que podríamos denominar de la “economía verde”, investigando el potencial de nuestra biodiversidad para asegurar con él la soberanía de la Nación en la propiedad de patentes, y hacer frente a la amenaza asociada a la apertura de los mercados y a la “reprimarización” de nuestra economía.

Y en cuanto al fundamental legado geográfico del emblemático General Codazzi, responsable de la elaboración de las cartas de nuestro territorio y quien logró además la identificación de las grandes regiones culturales de la Patria, debe añadirse que hoy es evidente el retraso en nuestra cartografía temática, tanto analítica como sintética, y de

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

detalle, para no mencionar los profundos vacíos existentes en la definición y caracterización de las variantes regionales de esta Colombia, pluricultural y ambientalmente diversa, que indudablemente va cambiando y evolucionando sin que quede registro de lo que ha ocurrido para advertir tendencias, potencialidades y problemáticas.

#### **ANEXO: BIBLIOGRAFIA DE BASE.**

ACADEMIA COLOMBIANA DE HISTORIA. Historia Extensa de Colombia. Vol. 24 Las ciencias en Colombia: Geografía, Cartografía". Edit. Lerner. Bogotá, 1974.

ALVAREZ LLERAS, Jorge. Reseña histórica del Observatorio Astronómico y Meteorológico de Bogotá. Rev. Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 1938).

ALVIS, S. Víctor. Los Principia de Newton y el desarrollo de las ciencias naturales en el virreinato de la Nueva Granada. Revista de la Universidad Nacional. BUN (2a. época). Bogotá, 1986).

\_\_\_\_\_. La obra de Garavito y el Observatorio Astronómico". Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 1938. (Bogotá).

AMAYA, José Antonio. Celestino Mutis y la Expedición Botánica. Madrid: Editorial Debate/ Itaca.1986.

ARANGO, Teresa. El Observatorio Astronómico de Mutis. Gaceta de Colcultura: Vol. II, No. 15. Bogotá, 1977.

ARBOLEDA, C. El perfil de la ciencia en América. Mutis entre el rigor wolffiano y la intuición cartesiana. En: Saldaña, J.J. (ed) Cuadernos de Quipu, No. 1, México, 1986.

ARIAS DE GREIFF, JORGE. El Cometa Halley. Empresa Editorial Universidad Nacional de Colombia. 1986.

\_\_\_\_\_. Astronomía en Colombia, Empresa Editorial U. N. de Colombia. 1980.

Banco de la República, Fundación Amigos de las Colecciones de Arte e Instituto Alexander Von Humboldt. "Tu Expedición Botánica". Consultado el 9-07-2009 en: [http://www.lablaa.org/proyectos/tu-expedicion-botanica/guia\\_de\\_profesores.pdf](http://www.lablaa.org/proyectos/tu-expedicion-botanica/guia_de_profesores.pdf)

Biblioteca Banco Popular. Francisco José de Caldas, el hombre y el sabio. Su vida - su obra. Bogotá, 1978.

BELTRÁN PEÑA, Francisco. Los Muisca. Pensamiento y Realizaciones. Edit. Nueva América. Bogotá, 1987.



BRIEVA BUSTILLO, EDUARDO. Introducción a la Astronomía. Empresa Editorial Universidad Nacional de Colombia. 1985.

CODAZZI, Agustín. Memorias de Agustín Codazzi. Caracas, Univ. Central de Venezuela. Venezuela, 1970, en: <http://www.lablaa.org/blaavirtual/geografia/codazzi-1/indice.htm>

Conferencias sobre la Expedición Botánica. El Observatorio Astronómico de Bogotá. Edit. Kelly. Bogotá, 1958.

COLCIENCIAS. “Proyecto de Historia Social de las Ciencias en Colombia”, Revista CTyD. Bogotá.

DIAZ P, Santiago. La Expedición Botánica. Sociedad Geográfica de Colombia. Academia de Ciencias Geográficas. Consultado el 9-07-2009 en:

DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. Editoriales de la Red de Astronomía de Colombia RAC. Desde el OAM. Manizales, en: <http://oam.manizales.unal.edu.co/>

DÍAZ, Elena; TEXERA, Yolanda; y VESSURI, Hebe.: Edit. La ciencia periférica. Ciencia y sociedad en Venezuela. Caracas: Monte Ávila Editores, 1983.

Comisión Corográfica. Jeografía física y política de las provincias de la Nueva Granada. Bogotá, Imprenta del Banco de la República. 1958, en:

LÓPEZ-OCÓN, Leoncio. Discontinuidades y tradiciones de ciencia iberoamericana. Cuadernos IG/UNICAMP 5. España, 1995.

MANZANO MANZANO, Juan. Colón descubrió América del Sur en 1494. Academia Nacional de la Historia. Caracas, 1972.

Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de España y Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la República Argentina. II Encuentro Hispanoamericano de Historia de las Ciencias. Madrid, 1992.

SAGASTI Francisco y GUERRERO Mauricio. El desarrollo científico y tecnológico de América Latina. Diagnóstico, bases para la acción y estructuras de cooperación. IIAL-BID. Buenos Aires, 1974.

SCHUMACHER, HERMANN A. Codazzi, un forjador de la cultura. Traducción, Ernesto Guhl. Bogotá, Ecopetrol, 1988.

Universidad Nacional de Colombia. Obras Completas de Francisco José de Caldas. Homenaje con motivo del sesquicentenario de su muerte. Bogotá, 1966.

YÉPEZ, Ernesto: Editor. Algunos aportes para el estudio de la historia de la ciencia en el Perú. CONCYTEC. Lima, 1983.

### 13.7. CALDAS, EL PRECURSOR DE LA CIENCIA NEOGRANADINA



Figura 13.5. Observatorio Astronómico de Santafé y Francisco José de Caldas. Fuentes: Caleb Portilla Unda Ñañez y biografiasyvidas.com

Así como la Expedición Botánica fue nuestro primer proyecto científico fruto de la reforma borbónica que quiso hacer de América un proyecto rentable, también Francisco José de Caldas fue el primer director el Observatorio Astronómico de Santafé, hito de una arquitectura que expresa la irrupción de la ciencia en el pensamiento ilustrado de la Nueva Granada. En 1801 gracias a Humboldt, Mutis empieza con los preparativos para la construcción del Observatorio Astronómico al descubrir para la ciencia al payanés, cuando estando Caldas en Quito el Barón tras visitar su casa en Popayán en su recorrido hacia el sur, en una breve estadía le envía una carta al eminente gaditano poniéndolo al tanto de la importancia del Sabio neogranadino, reconociendo y elogiando su obra.

Caldas, que pese a su inclinación por las ciencias exactas y naturales sólo había hecho estudios calificados en Jurisprudencia, aunque no poseía formación científica en altas matemáticas para abordar el estado del arte en la física de la época, y sin mucho conocimiento sobre los avances de la botánica consecuencia de las precarias condiciones para acceder al conocimiento científico en América, incursiona desde 1800 para cualificarse en el estudio sistemático y técnico de la biología, gracias a su estrecha relación con Aimé Bonpland con quien se conoció en Quito hacia 1802, cuando este botánico

francés acompañaba al naturalista prusiano Alejandro von Humboldt.

Deseando el Sabio Caldas acompañar a Humboldt, no quiso “El padre de la geografía moderna” compartir su gloria con el inventor del hipsómetro, instrumento que permite estimar con sorprendente precisión la altitud de un lugar observando la temperatura de ebullición del agua destilada, frustrando así al criollo ilustrado que solía hacerse a literatura mientras se dedica al comercio, y quien saciaba el interés científico desplegando su espíritu investigador utilizando instrumentos de medida como barómetro, termómetro y aparatos astronómicos, con los cuales observa una ocultación del primer satélite galileano en 1798, determina la latitud y longitud de Popayán, hace observaciones sistemáticas de alturas, trabajos cartográficos y determinaciones de posiciones geográficas en varios lugares, recurriendo a observaciones astronómicas incluidas las que sirvieron a Humboldt y Bonpland para elaborar el mapa del río Magdalena.

José Celestino Mutis y José Ignacio de Pombo quienes sin lograrlo habían intercedido ante Humboldt para que Caldas lo acompañara en su expedición al Perú, primero contratan al payanés para una exploración en busca de nuevas especies por tierras caucanas y quiteñas, y luego como astrónomo a la Real Expedición Botánica. Proveniente de Quito, con mulas cargadas de diversos materiales e instrumentos que eran su tesoro, tales como anotaciones de campo, libros, biota, minerales y aparatos científicos, como un telescopio Dolland, un cuarto de círculo de Bird y un péndulo de Graham, entre otros, empezando 1806 llega a Santafé este Neogranadino de 37 años para tomar posesión como director del Observatorio Astronómico.

Ya en Santafé, se suma a la lista de próceres de nuestra independencia al permitir que las reuniones de los criollos ilustrados, pasen de la casa de José Acevedo y Gómez al Observatorio Astronómico tras percatarse de la vigilancia de los sabuesos del virrey Amar y Borbón sucesor de Pedro Mendinueta.

Además de criticar la administración impuesta por España en sus colonias y de haber hecho parte del plan que detona el incidente de El Florero de Llorente ocurrido la mañana del 20 de julio de 1810, Caldas entrega su vida cuando cae fusilado por orden de Pablo Morillo el 28 de octubre de 1816, junto a Francisco Antonio Ulloa, José Miguel Montalvo y Miguel Buch.

Si bien los aportes del mártir que honramos como caldenses contemplan lo expresado, además del Atlas del Virreinato (1805-1808) y las publicaciones del Semanario del Nuevo

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

Reino de Granada (1808- 1812), su mayor legado está en sus planteamientos científicos y educativos, y pensamiento americanista como exponente del quehacer científico criollo, ya que le da importancia al reconocimiento del territorio por parte de sus propios habitantes, planteando al tiempo la necesidad de elaborar una carta geográfica que exprese su potencial fisiográfico, biótico, etnográfico y cultural como requerimientos a las demandas propias de nuestro medio, dada su importancia para resolver sus problemáticas en aras del progreso y del desarrollo comercial.

[Ref.: La Patria. Manizales, 2016.11.07]

### 13.8- HUMBOLDT Y SU PERIPLO CIENTÍFICO POR AMÉRICA

Procedente de Europa y después de zarpar de La Coruña y abandonar las Islas Canarias tras navegar diez mil kilómetros entre el 5 de junio y el 16 de julio de 1799, el polímata Alexander von Humboldt (1769-1859) en compañía del también naturalista y botánico francés Aimé Bonpland (1773-1858), llega al continente portando un amplio pasaporte con autorización de Carlos IV de España, para realizar un viaje de investigación en las colonias españolas del territorio americano. Habiendo olvidado llevar cinchona (quina) para la malaria y cargado de aparatos para observaciones geográficas, el insigne berlinés en su primer contacto bajo el cielo azul celeste del trópico, explora en las Antillas las aguas azul turquesa del Caribe.



Figura 13.6. Alexander Humboldt: Viaje de exploración 1799-1804. Wikipedia.

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

El periplo por la actual Venezuela, Colombia y Ecuador que continuará por Perú, México, Cuba y Estados Unidos, se inició en la tierra firme de América pisando el puerto de Cumaná (Venezuela), debido a una epidemia a bordo que obligó a cambiar el destino de la nave, cuya primera etapa del viaje era Cuba. El naturalista prusiano -quien por sus vastos conocimientos fuera considerado el "Padre de la Geografía Moderna Universal"-, midió 37°,7 de longitud Oeste en El Salado; y después de dos meses en la costa oriental venezolana, con un castellano bien hablado, cargado de instrumentos y en compañía del naturalista francés, remonta el Macizo Oriental para penetrar el continente con el propósito de coleccionar y estudiar plantas, animales y rocas.

Mientras Bonpland continuaba por tierra desde Higuerote, Humboldt que pasaba a La Guaira emprende marcha hacia Caracas; allí se reencuentran para recorrer durante cuatro meses varios lugares, salir luego a los llanos centrales por la cuenca del Apure hacia las misiones y la Guayana venezolana, y continuar en mayo indagando el Orinoco hasta a San Carlos de Río Negro en vecindades del parteaguas con el Amazonas. Seguidamente, ambos expedicionarios retornan por Angostura a Barcelona, donde concluyen el recorrido en noviembre de 1800. Van luego a Cuba, donde el americanista de treinta años de edad consolida parte de su ensayo político sobre la isla, evidenciando en sus escritos aversión por la esclavitud y anexando a su correspondencia herbarios y muestras geológicas, que despertan interés científico en Europa.

Zarpa con Bonpland para regresar al Continente por la Nueva Granada, en medio de una tormenta que los desvía al delta del Sinú, desde donde avanzan hasta Cartagena. Aunque el plan era ir a Panamá deciden cruzar la Nueva Granada por los Andes para bajar a Perú, por lo que remontan el Magdalena estudiando la biota y haciendo observaciones topográficas y astronómicas para el mapa del río hasta la Villa de Purificación. Luego de pasar por Mariquita constatando el verdor del trópico andino y la exótica fauna neogranadina, ascienden a Santa Fe mediando 1801, con el fin de visitar a Mutis y conocer las extraordinarias colecciones de la Expedición Botánica; entonces Humboldt quien utilizó las determinaciones astronómicas de Francisco José de Caldas y legitimó la contribución a la hipsometría del payanés, lo recomendó para que el sabio cadicense corresponsal de Linneo le encomendara el manejo del Observatorio Astronómico que proyectaba, reconociéndole sus conocimientos sobre geografía y clima.

Tras permanecer hasta septiembre de 1801 en la capital del virreinato, los expedicionarios que visitaron las salinas de Zipaquirá, el lago de Guatavita, el páramo de Chingaza y el salto del Tequendama, siguieron hacia el sur por el páramo del Quindío, donde además de paisajes con nevados, palma de cera y guaduales, visitan y registran lugares. Explorando el Cauca por las vertientes de la Cordillera Occidental y Central, y desentrañando los secretos del trópico andino anduvieron por Cartago y Buga hasta llegar a Popayán; luego de ascender al Puracé franquean los desfiladeros de Almaguer con destino a Pasto, conocen el Galeras y continúan por la sabana de Túquerres con dirección a Ibarra, logrando llegar a Quito en enero de 1802. De allí, explorando el andén Pacífico llegan a Lima en junio de 1802, donde cierran el viaje para regresar por agua a Guayaquil e ir a México, investigándolo al cruzar por tierra entre Acapulco y Veracruz (1803), para embarcarse pasar por Cuba para ir a Filadelfia, y retornar a Europa en junio de 1804.

### 13.9- DESARROLLO Y REVOLUCIONES TECNOLÓGICAS

Se entiende por tecnología el conjunto de instrucciones aplicadas a un proceso productivo; por ejemplo, el café y el bahareque, o la tecnología para el control de la erosión, patrimonio de la región. Ahora, en una perspectiva más global, si entre las tecnologías fundamentales logradas por la humanidad, están el fuego y la rueda, o la agricultura y el pastoreo inventados durante el Neolítico, también uno de los desarrollos más portentosos de la humanidad ha sido el invento de las ciudades cuya evolución es evidente. No obstante, así como desde la invención del fuego, el deterioro del medio ambiente ha resultado significativo, también los problemas contemporáneos asociados a la tecnología, son múltiples: agotamiento de recursos y polución, guerras y exclusión, gasto público e innovación, crecimiento y desarrollo, dependencia y poder, ideología y cultura...



Figura 13.7: Las revoluciones industriales, en

<http://economipedia.com>

Si miramos la historia del desarrollo, los principales cambios sucedidos después del neolítico, han sido las denominadas revoluciones industriales, de las cuales transcurrieron dos: la primera, impulsada y promovida por la máquina de vapor y la energía hidráulica, cuya importancia radicó en el proceso de transformación económica, social y tecnológica ocurrido en Europa Occidental, Estados Unidos y Japón, ocurrida desde la segunda mitad del siglo XVIII hasta 1850, cuando se da el paso de una economía rural a otra de carácter urbano, industrializada y mecanizada; y la segunda revolución, que partió de 1870 y cerró

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

con la primera guerra mundial en 1914, donde los impactos de esa naturaleza pero alcance globalizado parten de los procesos de industrialización mediados por innovaciones técnicas intensivas en nuevas fuentes de energía como el gas, el petróleo o la electricidad, y en nuevos materiales, se traducen en una explosión de medios como el avión, el automóvil, el teléfono y la radio.

Y mirando lo que es el desarrollo hoy, diríamos que estamos cerrando el ciclo de una tercera revolución iniciada a mediados del siglo XX: la también denominada revolución científico-técnica que ha servido como detonante de la llamada sociedad de la información, gracias a la conjunción de las TIC y las energías renovables, pero también que estaríamos ad portas de una cuarta revolución industrial marcada por la convergencia de tecnologías digitales, físicas y biológicas, puesto que se anticipan cambios estructurales en el mundo que conocemos, y por lo tanto en la forma en que vivimos, trabajamos y nos relacionamos. Así como la tercera revolución industrial partió de la llegada de la electrónica transformando la tecnología de la información y las telecomunicaciones, ahora con la automatización total de la manufactura mediada por los avances de la inteligencia artificial debidos a la ingeniería genética y las neurotecnologías, en las próximas décadas habrá un cuarto giro o revolución que cambiará radicalmente la estructura del empleo, con grandes consecuencias sociales, económicas y ambientales.

Dados el modelo de desarrollo “energívoro y consumista”, con 7.300 millones de personas habitando el planeta que alcanzarán a 9.700 millones en 2050, y una huella ecológica per cápita creciente que ya supera la capacidad global de 2,1 hectáreas bioproductivas por persona, para resolver las demandas futuras de la humanidad en energía, alimentos, hábitat, trabajo... parecen insuficientes las cinco tecnologías fundamentales surgidas desde mediados del siglo XX y previstas hasta el año 2030, que en su orden son: la informática, que nace en 1948 con la invención del transistor; la biotecnología, que surge gracias al microscopio electrónico la ultra-centrifugadora y el espectrómetro de masas; los nuevos materiales, obtenidos en procesos con ambientes a temperaturas extremas e ingravidez, bajo intensos campos magnéticos; las nuevas fuentes energéticas (energía solar y de fusión, biocombustibles, hidrógeno...) modificando el arco energético por fuentes ; y los nuevos espacios, como la órbita geoestacionaria y los fondos oceánicos, importantes para Colombia.

Si queremos futuro, para superar esta sociedad industrial de ayer y entrar con opciones de desarrollo a la sociedad del conocimiento, el primer desafío va más allá de la calidad de la educación, puesto que el actual modelo educativo centrado en los tres objetivos de las pruebas PISA, al olvidar la cultura y las artes no desarrolla el talento humano; y el segundo, debemos implementar estrategias para una reconversión tecnológica del aparato productivo, e implementar un nuevo desarrollo soportado en sinergias entre la economía del conocimiento y las economías verde, digital y naranja. [Ref.: La Patria. Manizales, 2017.12.18]

### 13.8. DESDE EL OAM: SOBRE NUESTRA LABOR

Apreciados amigos de la astronomía: cuando nos preguntamos quienes hacen la astronomía en Colombia, donde muchos aplicamos en la difusión de esta ciencia, creo debemos empezar por señalar las personas que lideran los procesos del conocimiento desde la investigación y la docencia formal en razón a la natural dificultad que se encara en estas dos funciones de naturaleza eminentemente académica, y donde son pocos los actores dada la complejidad de las ciencias físicas y exactas que en la astronomía se involucran.

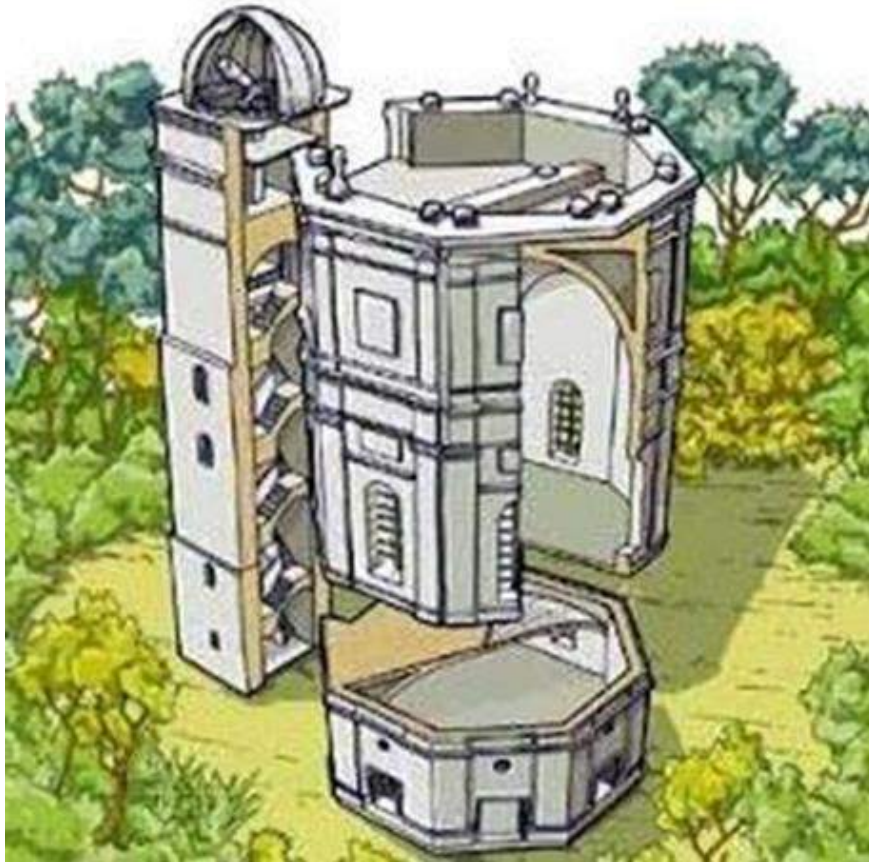


Figura 13.8. Sede Histórica del Observatorio Astronómico Nacional. In: OAN de la U.N. de Colombia.

#### **A- El quehacer de los astrónomos en Colombia.**

Para empezar, habiendo atinado al incursionar en el importante terreno de la cosmología donde no tenemos limitaciones como país en desarrollo, debemos reconocer que si en algo andamos mal en Colombia es en la investigación científica y tecnológica orientada a temas tan estratégicos como la astronomía atmosférica de importancia para los asuntos del clima en el medio tropical andino, y en la ingeniería aeroespacial de cara al precario desarrollo satelital, dado que a pesar de poseer órbita geostacionaria mantenemos un notable rezago en el campo de las comunicaciones y de la cartografía temática y de detalle de la geografía nacional.



Entonces, para iniciar el balance con optimismo empezamos con la docencia formal, donde vale la pena subrayar el esfuerzo de la Universidad Pública de Colombia con dos programas estratégicos: el recién creado pregrado de astronomía de la Universidad de Antioquia, donde Jorge Iván Zuluaga aparece como actor de indiscutible desempeño al lado de otros colegas que lo acompañan, y el posgrado en Astronomía de la Universidad Nacional de Colombia que desde la Facultad de Ciencias ofrecen los compañeros del Observatorio Astronómico Nacional OAN, varios de ellos con actividades científicas necesarias para su actual proceso de formación en el nivel de doctorado. Ahora, no digo lo mismo en el terreno de la investigación, ya que con preocupación se encuentra que Colciencias a la fecha solamente reporta cinco grupos de investigación en Astronomía y cuatro grupos de investigación en Ingeniería Aeroespacial, de los cuales solamente el de Alberto Quijano de Pasto aparece en categoría A, y del cual esperamos que la alta eficiencia comprobada en su depurada técnica observacional, se nutra con el valor agregado que ofrece la dinámica celeste para procesar dicha información.

Los cinco de Astronomía son: dos grupos de la Universidad Nacional de Colombia: uno en categoría B a cargo de Juan Manuel Tejeiro, en Astronomía, Astrofísica y Cosmología, y uno categoría B a cargo de José Antonio Uribe en Astronomía Galáctica (Cumulas Estelares); dos grupos de la Universidad de Nariño: uno categoría B que dirige Armando José Quijano en Arqueoastronomía y Etnoastronomía y otro categoría A en Astrofísica que dirige Alberto Quijano en Pasto; y finalmente el grupo de la Universidad de Los Andes a cargo de Alejandro García, categoría D, en Astrofísica.

Y los cuatro de Ingeniería Aeroespacial son: dos grupos de la Universidad San Buenaventura: uno categoría B trabajando en Motores de Combustión y dirigido por Arnold Escobar, y el de CyT Aeroespacial en categoría D a cargo de Jaime Alberto Escobar; el grupo de la Universidad Eafit en Sistemas de Control a cargo de Carlos Mario Vélez y en Categoría C; y por último un grupo de la Universidad Sergio Arboleda en categoría D dirigido por Oscar Elías Herrera que investiga en Desarrollo Tecnológico y Ciencias del Espacio.

Ed. RAC 569 /25/06/2010.

## **B- Astronomía en Colombia: procesos y regalías**

Cuando se subraya el trabajo de divulgación de la Astronomía que se hace en Colombia por un alto funcionario de la Unión Astronómica Internacional como Pedro Russo, quien tuvo a su cargo la Coordinación del Año Internacional de la Astronomía 2009 y fuera invitado al XII Encuentro de la Red de Astronomía de Colombia RAC que acaba de celebrarse en Barrancabermeja bajo la Dirección del Ing. Ronals Chinchilla y con el Astrónomo Germán Puerta como Presidente de esta organización que congrega astrónomos aficionados, autodidactas y profesionales del país, vale la pena mostrar las evidencias de importantes

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

procesos que vive Colombia en dicha materia, sin perder de vista la dimensión de los retos para una astronomía que parte de multitud de grupos con denominaciones que barren el alfabeto, el cielo y la historia, con nombres como Acda, Almagesto, Anic, Antares, Asasac, Asafi, Astrocéneca, Astrojóvenes, Astronomía Autodidacta, Apollo, Carl Sagan, Ceaua, Eac, Equinoccio, Francisco José de Caldas, Galileo Galilei, Gece, Julio Garavito Armero, Kepler, Orión, Pleyades, Urania-Scorpus, entre muchos otros.



Figura 13.9. Telescopio reflector de 14 pulgadas donado por la Fundación Mazda, y Planetario Móvil del Observatorio Astronómico Manizales OAM en Samoga. Campus Palogrande, en la Sede Manizales de la U.N. de Colombia.

Tras haber celebrado este año la décimo cuarta versión del tradicional Festival de Astronomía en Villa de Leyva de cada febrero, el tercer Festival de la Luna en Chía a mediados de mayo y la cuarta Fiesta de Estrellas en La Tatacoa iniciando Julio; o tener eventos en el Observatorio Astronómico Nacional OAN como el primer “Concurso Nacional Vive la Ciencia, Vive la Astronomía”, sus conferencias internacionales y otras actividades como la Semana Lunar de abril, además de la primera Escuela Colombiana de Relatividad Numérica efectuada en julio y de la Escuela de Astrofísica Extragaláctica y II Congreso Colombiano de Astronomía, ambos a principios de este mes, en otros lugares se van dando más hechos y van apareciendo noticias sobre nuevas actividades y programas por doquier, que podrían pasar ahora a planos de mayor nivel de desarrollo dada una nueva oportunidad que surge para los entes territoriales e instituciones de Colombia, en virtud de las dinámicas que se alimentarán de los nuevos recursos provenientes de las regalías y cuyo acceso demandará la formulación de proyectos bien estructurados y de alto impacto, asuntos para los que la labor de la Comisión Colombiana del Espacio CCE y de los nuevos gobernantes resultará fundamental, pero que no sustituirá la responsabilidad de quienes hacemos por la Astronomía en cada región entre varios asuntos que confirman el ambiente de la astronomía que vive país, señalo entre las nuevas noticias las de la Asociación de Astrónomos de Antioquia SAA invitando al Star Party Antioquia a realizarse en Jericó del 26 al 28 de agosto, por apostarle al turismo científico en las circunstancias exitosas de los hechos señalados, y la que también entrega el 8 de agosto anunciando becas para estudios de pregrado en Astronomía en el programa de la

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

Universidad de Antioquia, hecho que resalta el Astrónomo Benjamín Calvo del OAN felicitando a la SAA por semejante logro al añadir que “ojalá otros actores privados se unan al otorgamiento de becas sobre todo en los posgrados pertinentes a la astronomía en el país”; y todo eso además de la que recibimos desde el Centro Halley de la Universidad Industrial de Santander cuando anuncia la próxima inauguración de un pequeño Planetario para Bucaramanga con cúpula de 7 m al pedir la sede del Encuentro de la Red de Astronomía de Colombia RAC 2012.

Pero así y todo, entre tanto, mantendremos la idea de que las metas para la CCE donde se contempla el necesario apoyo a nuestras actividades regulares, y por lo tanto las de la astronomía profesional y de las agencias del Estado, deben ir más allá apuntando a las problemáticas estructurales y de fondo como las que hemos señalado en este espacio (satélites, órbita geoestacionaria, climatología, cartografía y comunicaciones), con programas y proyectos de largo aliento y envergadura.

Con lo dicho, solamente muestro algunas aristas de esos procesos ciertos que reconoce la Unión Astronómica Internacional en Colombia, a los que le dan cuerpo instituciones como la Biblioteca Departamental Jorge Garcés en Cali, Maloka, la Fundación Discovery, el Observatorio de la Sergio Arboleda, el Planetario de Bogotá, la Fundación Julio Garavito, el Parque Explora de Medellín, el Observatorio Astronómico de la Universidad de Nariño, el Planetario y Observatorio Astronómico de la UTP, y el OAM y Samoga de la UN sede Manizales, entre otros centros y fundaciones, en su mayoría articuladas por la RAC, así esta funcione como organización de hecho al no haberse constituido en persona jurídica dado el precario soporte económico que se destina desde los sectores institucionales y empresariales a la gran mayoría de sus otros miembros, pero que de alguna manera en conjunto apalancan con el citado ambiente cultural que mantienen a lo largo y ancho de Colombia, el puntal necesario para que la Nación pueda en poco tiempo desencadenar dichos desarrollos que reclama la sociedad y otros de fondo, entrando a la investigación para el desarrollo científico y tecnológico de la astronomía y las ciencias aeroespaciales de Colombia.

Desde el OAM, Ed. RAC Circular 623 <http://oam.manizales.unal.edu.co>

### **C. Por una red de astrónomos profesionales para Colombia**

En estos días cuando estamos clausurando el Año Internacional de la Astronomía IYA 2009 y luego de haber logrado desplegar multitud de labores muchas de las cuales presentamos en estas Circulares RAC, también debemos reflexionar un tanto sobre la razón de ser de la Red de Astronomía de Colombia y sobre la necesidad de blindarla como una organización de hecho que ha logrado reunir a la gran mayoría de los astrónomos aficionados y autodidactas del país, pero igualmente que ha convocado a pocos de los no muchos profesionales de esta ciencia.

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

Sin vacilaciones deberemos empezar por reconocer la falta de una asociación de astrónomos profesionales en Colombia como complemento natural para la misión que se ha propuesto la RAC en esta difícil y larga tarea de construir una ciencia para la Nación: una y otra surgidas de forma autónoma y libre, serían dos organizaciones independientes nacidas desde la sociedad civil, comprometidas con la astronomía en y para Colombia, y con funciones diferentes pero complementarias.

Mientras la existencia de la RAC se explica mejor por la necesidad de reconocernos desde la astronomía, de compartir experiencias y saberes resultado de las actividades y espacios que se abren y construyen entre nosotros, por la necesidad de constituirnos en red de actores interesados en la apropiación social de la ciencia y la tecnología, de actuar como colectivo para endogenizar esta ciencia o para conocerla, urge la necesaria conformación de una organización de astrónomos profesionales e investigadores, como complemento estratégico para alcanzar otros objetivos que están más allá de nuestra capacidad, pero que le dan sentido y continuidad a nuestras labores de fomento, educación y difusión científica en la base, creada por fuera de la RAC como instrumento necesario y autónomo para el intercambio de científicos, la conformación de grupos y redes de investigadores aplicados a la astronomía y ciencias afines, y sobre todo, para contribuir con nosotros a la creación de una visión sobre ciencia que le dé respuestas e identidad a la Nación.

Con esta asociación, más que importante necesaria, ahora que existen el programa de pregrado de la Universidad de Antioquia y de maestría en la Universidad Nacional de Colombia podemos transformar en una valiosa oportunidad para la astronomía en Colombia lo que ayer se denominaba fuga de cerebros y se calificaba de grave pérdida de capital humano, para bien de sus graduados. Ciertamente situaciones e historias de vida como las de Adriana Ocampo, Alberto Rodríguez, David Ardila y Jaime Forero entre más, son hoy una consecuencia natural de la apertura del mercado en un mundo globalizado para países como Colombia, donde faltan escenarios idóneos para la investigación.

Y la creación de esta nueva asociación no significa que unos salgan de aquí para ella: simplemente se podrá participar en ambas o en una de ellas de acuerdo a nuestro perfil e interés. Igualmente, habrá eventos y temas diferentes a los que algunos podremos asistir como pares académicos y otros a los que no en virtud de nuestra formación, e igualmente otros programas que no serán del interés de todos.

Algunos afiliados de la organización astronómica de complemento, de seguro serían miembros de la RAC. Si de algo debemos estar seguros, es de que con o sin personería jurídica existimos y logramos hacer cosas, de que no en vano llevamos a cuesta doce años de labores casi todas silenciosas a lo largo y ancho del país, y de que hemos mantenido una presencia cuyo reconocimiento internacional se ha materializado y puesto en evidencia durante el IYA 2009, gracias a la meritoria gestión de nuestro Presidente José Roberto Vélez y al esfuerzo de todos. Ed. Circular RAC 543. December 4, 2009.

#### **D. Procesos para una astronomía que le aporte a Colombia**

En la última semana de julio se ha validado el Plan Nacional de Desarrollo Tecnológico en Astronomía 2011-2030, un documento rector que se elabora en el Marco del Plan Estratégico 2009-2012 de la Comisión Colombiana del Espacio CCE por el Grupo de Astronáutica, Astronomía y Medicina Aeroespacial liderado por la Fuerza Aérea Colombiana y en el que participa la RAC, una de las siete subcomisiones cuyas que se propuso trazar los lineamientos de la política y acciones gubernamentales requeridas para integrar los esfuerzos de la comunidad astronómica colombiana, orientando el quehacer de los diferentes actores institucionales, empresariales y académicos que hacemos por esta ciencia, para coordinar y fortalecer objetivos con los de otras organizaciones que crean sinergias en este campo, trazados en función de las necesidades y oportunidades de la Nación. Vale la pena recordar que las siete subcomisiones de la CCE son: Telecomunicaciones, Navegación Satelital, Observación de la Tierra, Gestión del Conocimiento, Asuntos Políticos y Legales, Infraestructura Colombiana de Datos Espaciales, y Astronáutica, Astronomía y Medicina Aeroespacial.

Ya habíamos señalado la importancia de la CCE como organización clave creada en julio de 2006, mediante Decreto Presidencial para el fortalecimiento sectorial y la competitividad de Colombia, a la que se le encomendó establecer las prioridades y estrategias a corto, mediano y largo plazo con los diferentes programas y proyectos que requiere el país, por lo que habíamos apuntado sobre la importancia y posibilidades de la Astronomía y sus áreas afines, como factor de desarrollo para implementar las tecnologías espaciales que se demandan en el desarrollo social, económico y cultural de Colombia argumentando la necesidad de aplicarnos en temas cruciales, como son la deficiente cartografía temática y de detalle y la falta de medios de telecomunicaciones que salven montañas y llanuras e integren la ruralidad, dos temas para los cuales abogamos por un satélite con aptitud y utilidad para lo que la opción que haga uso de nuestra órbita geoestacionaria difiere de otra con órbita polar, además de avanzar en los asuntos del clima para los cuales contamos ayer con el eficiente Servicio Meteorológico Nacional y para lo que hemos reclamado crear un desarrollo propio en vez de optar por privatizar el IDEAM, para no correr el riesgo de dejar sin monitoreo climático escenarios no rentables de la patria severamente amenazados por el calentamiento global, como son páramos, costas y selvas.

El importante trabajo emprendido por el citado Grupo como subcomisión de la CCE, empieza por reconocer como primer ente científico del país al Observatorio Astronómico OAN fundado en 1803 en el marco de la Botánica de Mutis, institución cuyo aporte empieza por cultivar la astronomía y explorar puntualmente el territorio patrio durante sus primeras décadas, continúa luego con la formación en geodesia astronómica para los ingenieros responsables de implementar la red de apoyo requerida para la cartografía del país, desde época donde sobresale como contemporánea a esa fructífera actividad profesional la emblemática Corográfica de Codazzi (1850-1860) a mediados del S XIX y

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

vinculada a ella la investigación en mecánica celeste de Julio Garavito Armero (1865-1920) a principios del S XX.

Entonces la ciencia Astronómica en Colombia como tal y de forma sistemática, se acomete en Colombia apenas cuando se reconoce la importancia de las disciplinas para abatir el modelo de dependencia tecnológica en América Latina, cuando a partir de la Reforma Patiño se crea la Facultad de Ciencias en la U.N. y se le adscribe el OAN en 1965, institución que en 1998 facilita la creación del programa de Especialización en Astronomía de la UN como primer programa académico en esta disciplina en el país, la que soporta el programa de Maestría en Astronomía que en 2002 ofrece el OAN de la U.N., hechos que por ser los más relevantes, finalmente permiten inferir el precario desarrollo de la Astronomía y las ciencias del espacio en Colombia.

Dado lo anterior y gracias también al esfuerzo de otras instituciones académicas, hoy existe en Colombia un pequeño grupo de astrónomos que hace por una investigación apenas marginal y para la cual se requieren mayores recursos humanos e instrumentarles, necesarios para hacer viable el desarrollo científico y tecnológico de la astronomía y la aeronáutica, articulando temas que van más allá de la astronomía observacional, la cosmología, la astrofísica, el análisis numérico, la simulación, la instrumentación, e incluso la educación y divulgación científica y tecnológica, campos que son nuestras mayores fortalezas así falte incrementar los índices de productividad académica, imbricando campos con los que se requiere mayor nivel de interacción entre comunidades científicas, para entrar con masa crítica a los terrenos de la astronomía atmosférica, la geofísica y el análisis de señales, como de la física y la química aplicadas a diferentes problemáticas, además de penetrar las geociencias en el ámbito planetario o la logística y el derecho espacial; o para desarrollos en telecomunicaciones e informática, o en medicina espacial y astrobiología por ser campos importantes para el estudio de la vida en condiciones extremas; y en diseño, robótica y aeronáutica. Conclusión, tenemos un campo inmenso por explorar.

Ed. Circular RAC 621. Agosto 1 de 2011.

### Lecturas complementarias N°13:

<p><u><i>Colombia Tropical ¿y el agua qué? Crisis y opciones en el Río Grande de Colombia.</i></u></p> <p><u><i>El camino a las estrellas.</i></u></p> <p><u><i>Fundamentos de economía y transportes.</i></u></p> <p><u><i>Geomecánica.</i></u></p> <p><u><i>Geotecnia para el Trópico Andino.</i></u></p> <p><u><i>Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia.</i></u></p> <p><u><i>Gobernanza forestal para la ecorregión andina.</i></u></p>	<p><u><i>Albert Einstein en los cien años de la Teoría de la Relatividad.</i></u></p> <p><u><i>Elementos de Astrofísica y Las Estrellas.</i></u></p> <p><u><i>Astronomía en La Edad Media y el Renacimiento.</i></u></p> <p><u><i>La Cosmología de Stephen Hawking.</i></u></p> <p><u><i>Laudato sí: El Cuidado de la Casa Común. Memorias.</i></u></p> <p><u><i>Newton: de Grecia al Renacimiento.</i></u></p> <p><u><i>La economía en la era del conocimiento.</i></u></p>	<p><u><i>La encrucijada de la Universidad Pública.</i></u></p> <p><u><i>La sangría intelectual de la universidad pública.</i></u></p> <p><u><i>La U.N. en Manizales construyendo Ciudad y Región.</i></u></p> <p><u><i>Labor y proyección de la sesquicentenario U.N. de Colombia.</i></u></p> <p><u><i>Manizales, ¿entrando a la era del conocimiento?</i></u></p> <p><u><i>Teoría Económica: Economía General.</i></u></p>
--	--	--

...

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

UNIVERSIDAD NACIONAL DE  
COLOMBIA (1867-2017)



**GUÍA ASTRONÓMICA**

**Gonzalo Duque-Escobar  
MANIZALES, 2020**

<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3252>

Anexo 1: Colombia tropical: ¿y el agua qué?.

Anexo 12: La Luna

Anexo 2: Calentamiento global en Colombia

Anexo 13: Cultura y Astronomía (C&A)

Anexo 3: Aspectos geofísicos y amenazas naturales en los Andes de Colombia.

Anexo 14: Astronomía en La Edad Media y el Renacimiento.

Anexo 4: El camino a las estrellas.

Anexo 15: Sol, lunas y planetas.

Anexo 5: Isaac Newton

Anexo 16: Manual de geología para ingenieros

Anexo 6: Albert Einstein.

Anexo 17: Riesgo sísmico: los terremotos.

Anexo 7: Stephen Hawking

Anexo 18: CTS, Economía y Territorio.

Anexo 8: Geotecnia para el trópico andino.

Anexo 19: Cultura y Turismo en Caldas.

Anexo 9: Preservación Ambiental e Hídrica del Paisaje Cultural Cafetero.

Anexo.20: El Río Cauca y el desarrollo de la región.

Anexo 10: Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial.

Anexo 21: Videos: Temas de Astronomía y Medio Ambiente.

Anexo 11: Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia.

Anexo.22: UMBRA: la Ecorregión Cafetera en los Mundos de Samoga.

Enlaces U.N.: Textos “verdes”

**El Autor: Gonzalo Duque-Escobar**

**HOME:**



<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3252>

CONTENIDO: PRESENTACIÓN. GUÍA Nº 1. HISTORIA DE LA ASTRONOMÍA. GUÍA Nº 2. COORDENADAS ASTRONÓMICAS. GUÍA Nº 3. ELEMENTOS DE MECÁNICA PLANETARIA. GUÍA Nº 4. TIEMPO Y CALENDARIOS. GUÍA Nº 5. EL SISTEMA SOLAR. GUÍA Nº 6. SOL, LUNAS Y PLANETAS. GUÍA Nº 7. COSMOGRAFÍA. GUÍA Nº 8. ELEMENTOS DE ASTROFÍSICA. GUÍA Nº 9. LAS ESTRELLAS. GUÍA Nº 10. LAS GALAXIAS. GUÍA Nº 11. EL UNIVERSO. GUÍA Nº 12. TEORÍAS COSMOGÓNICAS. GUÍA Nº 13. ASTRONOMÍA EN COLOMBIA. BIBLIOGRAFÍA

**A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.**



...

	<p style="text-align: center;"><b>UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA (1867-2017)</b></p>  <p style="text-align: center;"><b>GUÍA ASTRONÓMICA</b> Gonzalo Duque-Escobar <b>BIBLIOGRAFIA</b></p> <p style="text-align: center;">Isaac Newton. A brief history of time, Stephen Hawking</p>
---	---

A Digital Books and Book Section UN. Duque-Escobar, Gonzalo (2012) *Textos digitales U. N. para los cursos del Profesor GDE.*

A hombros de gigantes. HAWKING, Stephen. Edición comentada Editorial Crítica. ISBN: 84-8432- 435-4. Barcelona. 2002.

A. Humboldt. Revista Aleph No. 190 (julio/septiembre 2019. ¡Año 53!) Compilación de Carlos Enrique Ruiz.

A propósito de los 70 años de la U.N. Sede Manizales. Duque Escobar, Gonzalo (2018). Revista *Civismo*, Manizales.

Actividades didácticas en astronomía estelar. Pico Arévalo, Julián Alberto (2016) *Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá.*

Acuerdo Climático: avance necesario pero insuficiente. Duque Escobar, Gonzalo (2018) [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource]

Agenda U.N. de Eclipses para 2019. Duque Escobar, Gonzalo (2019) [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource]

Agua como bien público. Duque Escobar, Gonzalo (2017) In: *Semana ambiental. Junio de 2017.* Corpocaldas, Aguas de Manizales y Alcaldía de Manizales. Teatro Fundadores, Junio 9 de 2017. Manizales.

Agua y Clima. El Cuidado de la Casa Común. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. (2016) Duque Escobar, Gonzalo (2017) Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales.

Agujeros negros y pequeños universos. HAWKING, Stephen. Editorial Planeta. I.S.B.N. 950-742-530-6. Colombia. 1996.

Aire urbano contaminado... ¿qué hacer? Duque Escobar, Gonzalo (2019) [Objeto de aprendizaje - Teaching Resource]

Al aula, con “el proyecto cultural de la nación” por construir. Duque Escobar, Gonzalo (2018). [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource]

Albert Einstein. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. (2016) Observatorio Astronómico de Manizales OAM. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.

Alexander von Humboldt: su legado a 155 años de su muerte. Jaime M. Calderón-Patrón y Cristian Cornejo-Latorre. (2015) Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo e Instituto Politécnico Nacional. México.

Alexander von Humboldt, perfil de un sabio. María Calderón Domínguez (2009) *Encuentros en la biología.*

Algo más sobre Caldas y Humboldt. Jorge Ariel de Greiff (1970) Sociedad Geográfica de Colombia.

Amenaza para la Reserva de Río Blanco en Manizales. Duque Escobar, Gonzalo (2018) Documento de trabajo. Sin



[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

Definir, Manizales, Colombia.

América Latina: oportunidades en la economía del conocimiento. Duque Escobar, Gonzalo (2018), Manizales.

Análisis comparativo de los indicadores de rotación estelar en una muestra de estrellas T-Tauri y post T-Tauri.

Rodríguez Gómez, Jenny Marcela (2012) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.

Antropoceno... ¿concepto cultural o geológico? Duque Escobar, Gonzalo (2018) In: Manual de geología para ingenieros. La Patria, Manizales, pp. 275-276.

Aplicación de las Leyes de Kepler como alternativa pedagógica para la enseñanza de las secciones cónicas.

Estudio de caso: I. E. Barrios Peña, Humberto (2016) Ismael Perdomo Borrero. Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales.

Aprender a filosofar. VÉLEZ Correa, Jaime, S. J. VÉLEZ, Juan Gregorio, S. J. Bogotá.

Aprendiendo del sismo de Honshu, Japón. Duque Escobar, Gonzalo (2011) Circular 602 de la Red de Astronomía de Colombia RAC (602).

Apuntes para la historia de Manizales: Desde antes de su fundación hasta fines de 1913. José María Restrepo M. (1914).

Árboles, poblaciones y ecosistemas. Duque Escobar, Gonzalo (2017) [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource]

ASAFI: testimonio de la vitalidad cultural del Valle. Duque Escobar, Gonzalo (2011) Circular Red de Astronomía de Colombia (617).

Aspectos de la agricultura colombiana en el siglo XX. Síntesis del libro de Salomón Kalmanovitz, Enrique López Enciso Bogotá, 2005.

Aspectos geofísicos de los Andes de Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2009) (Workshop Item). In: 1er Congreso Internacional de Desempeño Humano en Altura. Noviembre 19 de 2009, Manizales.

Astrofísica. In. [www.infoastro.com/200608/16planetas.html](http://www.infoastro.com/200608/16planetas.html)

ASTROFÍSICA. La Recherche (Recopilación). Muy interesante. Ediciones Orbis. Barcelona 1985.

Astrofísica. RECOPIACION DE ARTICULOS DE LA RECHERCHE. Biblioteca de Divulgación Científica "Muy Interesante". Ediciones Orbis. 1985.

Astrofísica y Estrellas. Duque-Escobar, Gonzalo. (2020) Contexto en Astronomía. Universidad Nacional de Colombia.

Astronomía. NICOLSON, IAN. Biblioteca Juvenil Bruquera. 1980.

Astronomía en Colombia. ARIAS DE GREIF, Jorge. Empresa Editorial Universidad Nacional de Colombia. 1980.

Astronomía en Colombia: procesos y regalías. Duque Escobar, Gonzalo (2011) Circular de la Red de Astronomía de Colombia RAC (623).

Astronomía en la Edad Media y el Renacimiento. Claudia Torres Arango (2014) Conferencia para el Contexto de Astronomía UN. Observatorio Astronómico de Manizales.

Astronomía, petróleo y río, en Barrancabermeja. Duque Escobar, Gonzalo (2011) Circular de la Red de Astronomía de Colombia RAC (622).

Astronomía sin Telescopio. ROUSSEAU, PIERRE. Biblioteca de Divulgación Científica "Muy Interesante". Ediciones Orbis 1986.

Asuntos del clima andino en Colombia. (Rec). DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. U.N. de Colombia.

Atlantis cierra la era del transbordador. Duque Escobar, Gonzalo (2011) Circular Red de Astronomía de Colombia RAC (620).

Atlas de Amenaza Volcánica en Colombia. CEPEDA, Héctor; CALVACHE, Marta L; Núñez, Alberto; Méndez, Ricardo A.; MORA, Héctor; Villegas, Henry. (2000). INGEOMINAS, Colombia.

Atlas de Deformaciones Cuaternarias de los Andes. Mora, Henry Villegas (2000). INGEOMINAS, Colombia. Proyecto Multinacional Andino. SNGM 2009.

Atlas de Geología. Durán, Gold y Taberner. Edibook S. A. Barcelona, 1992.

Atlas de lo Extraordinario. Fenómenos Naturales. Ediciones del Prado. Barcelona, 1994. Atmósfera, tiempo y clima. BARRY, R. G.; CHORLEY, R. J. Omega. Barcelona. 1978.

Bases de Geología Ambiental. HERMELIN, Michel. Universidad Nacional. Medellín, 1987.

Bioturismo y ruralidad en la Ecorregión Cafetera. Duque Escobar, Gonzalo (2011). In: Paisaje Cultural Cafetero: amenazas y oportunidades. Jueves 1° de Septiembre de 2011, Auditorio de Confamiliares de Caldas.

Bosques, Cumbre del Clima y ENSO. Duque Escobar, Gonzalo (2018) In: Foro sobre el Sector Forestal, como Alternativa de Desarrollo Sostenible. Diciembre 11 de 2018. Centro Cultural del Banco de la República. Manizales.

Bosques en la cultura del agua. Duque Escobar, Gonzalo (2011) La Patria. Manizales.

Breve historia de la cosmología. Astroseti: David Wands, Portsmouth. Traducción de Jesús Canive.

[\[Escriba aquí\]](#)

[\[Escriba aquí\]](#)

[\[Escriba aquí\]](#)

Breve Historia del Saber. VAN DOREN, Charles. Editorial Planeta. ISBN: 970-37-0558-8. México.

Caldas, el precursor de la ciencia neogranadina. Duque Escobar, Gonzalo (2016) In: La Patria. Manizales, Colombia.

Caldas en la biorregión cafetera. Duque Escobar, Gonzalo (2014) In: Foro "Por la Defensa del Patrimonio Público, las Fuentes de Empleo y el Bienestar de los Caldenses", 6.11. 2014, Manizales, Caldas, Colombia.

Calentamiento global en Colombia. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. (2011). IDEA. Universidad Nacional de Colombia.

Cambio climático y gestión ambiental en Caldas. Duque Escobar, Gonzalo (2018) [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource]

Capítulos virtuales para la enseñanza de las Ciencias de la Tierra y el Espacio. VALLEJO VELÁSQUEZ, Juan Carlos (2015). Maestría Thesis, U. N. de Colombia – Sede Manizales.

Caracterización del impacto del AGN en la cinemática de una muestra de galaxias-califa. Henao Ocampo, Lady Johana (2017) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.

Cien años de civilidad en la construcción de territorio. SMP Manizales (2012). Libro Centenario de la SMP. Manizales, Colombia.

Cien años del Universo Relativista de Einstein. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. (2016) La Patria, Manizales, Colombia.

Ciencia, saberes, empleo y ruralidad, en el PND 2010-2014. Duque Escobar, Gonzalo (2011) Circular 600 de la Red de Astronomía de Colombia RAC (600).

Ciencia, Tecnología, Desarrollo y PIB en Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2017) [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource]

Ciencia, Tecnología y Emprendimiento – CT&E. Duque Escobar, Gonzalo (2010) In: Conferencia para Instructores y alumnos del SENA sobre CT&E, 30-09-2010, Auditorio del SENA.

Ciencia, Tecnología Y Sociedad, CT&S. Duque Escobar, Gonzalo (2006). U.N. de Colombia.

Ciencia, tecnología y ruralidad en el POT de Caldas. Duque Escobar, Gonzalo (2013) In: Instalación del Comité Regional de Ordenamiento Territorial de Caldas, Agosto 20 de 2013, Gobernación de Caldas.

Ciencia y tecnología en la sociedad del conocimiento. Duque Escobar, Gonzalo (2011) Circular de la Red de Astronomía de Colombia.

Ciencias aeroespaciales: retos temáticos y organizacionales para el PND. Duque Escobar, Gonzalo (2011) Circular Red de Astronomía de Colombia.

Ciencias naturales y CTS. Duque E., Gonzalo (2006) In: Encuentro de Formación de Maestros Ondas, Manizales.

Cifras para el arqueo de CT&I en Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2011) Circular 606 de la Red de Astronomía de Colombia.

Cincuenta años de la llegada del hombre a la Luna. Duque Escobar, Gonzalo (2019) [Objeto de aprendizaje - Teaching Resource]. U.N. de Colombia.

CIRCULARES DE LA RAC. Red de Astronomía de Colombia RAC. Duque Escobar, Gonzalo. OAM- UN Manizales (Son 417 documentos)

Civilizaciones Mesoamericanas – Mayas: Cultura maya. AGUIAR, Olga. (2000). In Monografías.

Clima extremo, desastres y refugiados. Duque Escobar, Gonzalo (2016) La Patria, Manizales, Colombia.

COLOMBIA AL FILO DE LA OPORTUNIDAD. Informe de la Misión de Sabios. Bogotá, 1996.

Colombia: cuida y mira a tus océanos. Duque Escobar, Gonzalo (2011) Circular de la Red de Astronomía de Colombia RAC (614).

Colombia mira a la Cuenca del Pacífico. Duque Escobar, Gonzalo (2011) In: 52° Congreso Nacional de Sociedades de Mejoras Públicas de Colombia: productividad y civismo, 12, 13 y 14 de agosto de 2011, Cartagena de Indias, Colombia.

Colombia: ¿muere el país rural? Duque Escobar, Gonzalo (2019) Documentación. La Patria, Manizales.

Colombia: riesgos geodinámicos y hábitat. Duque Escobar, Gonzalo (2018) In: Conferencia para el Curso de Tecnología V, Febrero 19 de 2018, Escuela de Arquitectura y Urbanismo – Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales.

Colombia y sus mares: ¿puertos en el Pacífico? Duque Escobar, Gonzalo (2019) [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource]. U.N. de Colombia.

Colonización, fundaciones y conflictos agrarios. Albeiro Valencia Llano (2000) Artes Gráficas Tizán

Cometas Meteoros y Asteroides. GIBILISCO, Stan. Cómo afectan a la tierra. Editorial Mc Graw Hill. Serie de

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

Divulgación Científica. España. 1991.

Complejidad ambiental: propuestas éticas emergentes del pensamiento ambiental latinoamericano. NOGUERA DE E, Ana Patricia (2008) Gestión y Ambiente; Vol. 10, núm. 1 (2007).

Con tecnología de punta se actualiza el Planetario de Bogotá. Ed Circular RAC 479. Colombia.

Conceptos y principios básicos de la astronomía observacional. González Murillo, Giovanni Francisco (2016).

Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá.

Construcción y utilización del telescopio como herramienta didáctica de la Física. Mejía Roza, Julián Andrés (2017)

Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales.

Construyendo el territorio UMBRA. Duque Escobar, Gonzalo and Torres Arango, Claudia (2018) [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource]

Continuo ionizante en galaxias Seyfert con emisión de líneas coronales. Vera Rodríguez, Rafael Jonathan Camilo (2014) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.

Contribuciones de Einstein a la teoría cuántica (1905-1925). NAVARRO VEGUILLAS, Luis (2000)

COP21, un reto social y político a nivel global. Duque Escobar, Gonzalo (2015) La Patria, Manizales, Caldas, Colombia.

Corredor Bimodal Cafetero .N/A. Duque Escobar, Gonzalo (2015) Ficha Técnica del Proyecto.

Cosmología: Origen, evolución y destino del Universo. HERNÁNDEZ, Pedro J.

Cosmological features of primordial magnetic fields. Hortua Orjuela, Héctor Javier (2018) Doctorado thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.

¿Crecimiento volátil con Empleo vulnerable? Duque Escobar, Gonzalo (2019) Documento de trabajo. U.N. de Colombia.

¿Cuál es el mejor sistema de transporte para Colombia? Duque Escobar, Gonzalo (2017) [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource]

Cultura & Astronomía. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. (2009) Observatorio Astronómico de Manizales OAM. Universidad Nacional de Colombia.

Cultura y Turismo en Caldas. Duque Escobar, Gonzalo (2018) In: FORO: Turismo y Cultura., Universidad Católica de Manizales.

De la economía marrón a la naranja. Duque Escobar, Gonzalo (2018) [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource]

Degradación del hábitat y gestión ambiental. Duque Escobar, Gonzalo (2018) La Patria, Manizales, Colombia.

Del mundo cerrado al universo infinito. KOYRÉ, Alexandre. Siglo veintiuno editores. Novena edición. Méjico. 1996.

Del tamaño de un fotón. Villanueva Hernández, Pedro Javier (2009) Documento de trabajo. Universidad Nacional de Colombia.

Desarrollo de la agricultura colombiana. Roberto Junguito, Juan José Perfetti y Alejandro Becerra (2014). N°48 Fedesarrollo.

Desarrollo de un algoritmo de aprendizaje de máquina para gravimetría, nivelación geométrica y alturas elipsoidales. Arias Patiño, Miguel Fernando (2014) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.

Desarrollo sostenido en la prospectiva de la problemática ambiental y la supervivencia. Duque Escobar, Gonzalo (1990) Universidad Nacional de Colombia - Sede Manizales, Manizales, Colombia.

Desarrollo urbano y huella ecológica. Duque Escobar, Gonzalo (2018) [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource]

Desarrollo y revoluciones tecnológicas. Duque Escobar, Gonzalo (2017) Documento de trabajo. La Patria, Manizales, Colombia.

Desarrollo y ruralidad en la región cafetalera. Duque Escobar, Gonzalo (2012) Revista Eje 21. Colombia.

Descripción del Observatorio Astronómico de Santafé de Bogotá, situado en el Jardín de la Real Expedición Botánica. Caldas, Francisco José de (1966) In: Obras completas de Francisco José de Caldas: publicadas por la Universidad Nacional de Colombia como homenaje con motivo del sesquicentenario de su muerte 1816 - Octubre 29 -1966. Imprenta Nacional, Bogotá, pp. 49-53.

Descubrir el universo desde Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2009). UN Periódico. pp. 1-3.

Desde los Andes al Orinoco y al Amazonas. Duque Escobar, Gonzalo (2015) La Patria. Manizales.

Design and development of a solar radio interferometer of two elements. Guevara Gómez, Juan Camilo (2017) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.

Desterrados: tierra, poder y desigualdad en América Latina. Arantxa Guereña (2016). Oxfam América

Dinámicas del clima andino colombiano. Duque Escobar, Gonzalo (2003) OAM Ed. Circular RAC 237.

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

- DICCIONARIO ARISTOS. Editorial Sopena S. A. Barcelona. 1971.
- DICCIONARIO ILUSTRADO DE LA ASTRONOMIA Y LA ASTRONAUTICA. Círculo de Lectores S. A. 1987.
- DICCIONARIO PEQUEÑO LAROUSSE. París. 1960.
- DICCIONARIO RIODUERO. FISICA DEL ESPACIO. Ediciones Rioduero. 1978.
- Eclipse de luna del jueves 15 de mayo de 2003. Duque Escobar, Gonzalo (2003) Observatorio Astronómico de Manizales OAM.
- Economía cafetera y desarrollo económico en Colombia. José Alberto Pérez Toro (2013). Universidad Tadeo Lozano. Colombia.
- Economía verde y economía del conocimiento. Duque Escobar, Gonzalo (2013) La Patria.
- Ecuación de desvío geodésico en la métrica Lemaître Tolman Bondi. Orduz, Carlos Andrés (2012) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Ecuación de Friedmann modificada y cosmología sobre una Brane-World / Friedmann equation modified and Cosmology on a Brane-World. Moreno Sánchez, Alexander (2009) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Educación con-ciencia para el desarrollo. Duque Escobar, Gonzalo (2010). La Patria, Manizales.
- Educación e investigación, para la construcción de la Nación. Duque-Escobar, Gonzalo (2008). Circular RAC 483.
- Efecto de huecos y bordes sobre la medición de lacunaridad y fractalidad en un catálogo de galaxias. García-Farieta, Jorge Enrique (2015) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.
- Einstein para principiantes SCHWARTS, Joseph & MCGUINNESS, Michael. Era Naciente SRL. BBAA. 2001.
- Eje Cafetero: construcción social e histórica del territorio. Duque Escobar, Gonzalo (2011) In: Summa Iuris, 5 (1). pp. 5-36. Editorial Revista ULA.
- El alba iluminada de la Cámara de Comercio de Manizales. Duque Escobar, Gonzalo (2013) Manizales, La Patria.
- El café en Colombia a principios del siglo XX. Absalón Machado C. (2001) Facultad de Ciencias Económicas. U.N. de Colombia. Bogotá.
- El departamento de Caldas frente a los Objetivos de Desarrollo del Milenio. U. Autónoma de Manizales-PNUD (2007).
- El desarrollo urbano y económico de Manizales. Duque Escobar, Gonzalo (Febrero de 2016). « ». Repositorio U.N de Colombia.
- El empresariado industrial del Viejo Caldas. Manuel Rodríguez Becerra (1993) Facultad de Administración Universidad de los Andes
- El Bosón de Higgs. Duque Escobar Gonzalo (2012). Observatorio Astronómico de Manizales OAM. Universidad Nacional de Colombia.
- El cambio climático como factor transformador del territorio. Alarcón Hincapié, Juan Carlos (2017) Doctorado thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.
- El comportamiento de Mond en el sistema solar. Hernández Calvo, Laura Nataly (2013) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- El camino a las estrellas. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. (2009) Observatorio Astronómico de Manizales OAM. Universidad Nacional de Colombia.
- El cielo en las ciencias: enseñanza de la astronomía en la escuela. Ortiz Arango, Liana Suhail (2015) Documento de trabajo.
- El Colapso del Universo: la historia de los agujeros negros. ASIMOV, Isaac. Editorial Diana. Méjico. 1987.
- El Cometa Halley. ARIAS DE GREIF, Jorge. Empresa Editorial Universidad Nacional de Colombia. 1986.
- El cuidado de la casa común: Agua y Clima. Duque Escobar, Gonzalo (2016) In: Jornada Académica Laudato Si': El cuidado de la casa común, Auditorio Santo Domingo de Guzmán. Universidad Católica de Manizales.
- El desarrollo urbano y económico de Manizales. Duque Escobar, Gonzalo (2015) In: El POT de Manizales: "Colectivo Subámonos al Bus del POT", Auditorio de la SMP de Manizales.
- El desastre de Armero a los 30 años de la erupción del Ruiz. Duque Escobar, Gonzalo (2015) In: U.N. de Colombia. Curso de Contexto CTS. Noviembre 11 de 2015, Auditorio Juan Hurtado.
- El diálogo de saberes entre las ciencias naturales y las cosmovisiones indígenas acerca de la naturaleza: en el Guaviare. Arias Beltrán, Frank Edisson (2018) Maestría thesis, U. Nacional de Colombia, Bogotá.
- El espacio-tiempo sigue siendo un enigma para la ciencia y la filosofía. LORENTE, Miguel. Epistemología y Filosofía de la Ciencia.
- El futuro de la ciudad. Duque Escobar, Gonzalo (2015) (Ponencia) In: Cátedra de Historia Regional de Manizales "Bernardo Arias Trujillo" Cultura y Territorio, Abril 7 a Diciembre 1 del año 2015, Auditorio Tulio Gómez Estrada. Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales de la Universidad de Caldas.

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

El inestable clima y la crisis del agua. Duque Escobar, Gonzalo (2016) [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource]

El misterioso lado oscuro del universo. Duque Escobar, Gonzalo (2017) [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource] U.N. de Colombia. Curso de Contexto en Astronomía.

El momento de la creación. TREFIL, JAMES S. Biblioteca Científica Salvat. 1986.

"El movimiento de los cuerpos celestes". Portilla Barbosa, José Gregorio (2001) Cap. de: *Astronomía para todos.* Colombia ISBN: 958-701-104-X Ed: Unibiblos.

El museo interactivo Samoga en el trienio 2004–2006. Duque Escobar, Gonzalo (2007) In: *Informe*, 3 Agosto de 2007, Manizales.

El museo interactivo Samoga y el planetario OAM, como proyectos de ciudad. Duque Escobar, Gonzalo (2009) In: *Museo Interactivo y Planetario OAM.* Manizales.

El ocaso del bosque andino y la selva tropical. Duque Escobar, Gonzalo (2014) *La Patria.*

El Paisaje Cultural Cafetero. Duque Escobar, Gonzalo (2017) In: *Primer Simposio del Paisaje Cultural Cafetero*, Diciembre 12 de 2017, Recinto del Pensamiento. Manizales, Caldas.

El Parque Explora de Medellín: En C&T un Proyecto de Ciudad. Gonzalo Duque E. Ed. Circular RAC 545. Colombia.

El porqué de los aguaceros en Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2019) Documento de discusión. Razón Pública; Bogotá.

El Ruiz, amerita medidas de prevención y no pánico. Duque Escobar, Gonzalo (2016) U.N. de Colombia. Documento de trabajo. Revista Eje 21.

El Ruiz continúa dando señales... Duque Escobar, Gonzalo (2016) Reporte técnico. Revista Eje 21, Colombia.

El territorio como sujeto en el contexto del Magdalena Centro. Duque Escobar, Gonzalo (2012) In: *Jornada de Formación de la Diócesis de La Dorada, PDP-MC.*, Enero 23 a 27 de 2012, Rionegro Antioquia.

El territorio de los Ansermas de la cultura Umbra. Duque Escobar, Gonzalo (2012) [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource]

El territorio del río Grande de la Magdalena. Duque Escobar, Gonzalo (2018) [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource].

El tortuoso camino de los acuerdos climáticos. Duque Escobar, Gonzalo (2014). *La Patria.* Manizales.

El Universo acelerado. Gonzalo Duque Escobar. Observatorio Astronómico de Manizales OAM. Universidad Nacional de Colombia.

El Universo de Stephen Hawking. BOLSLOUGH, JHON. Biblioteca Científica Salvat. 1986. *El Universo Desbocado.* DAVIES, PAUL. Biblioteca Científica Salvat. 1985.

El universo en una cáscara de nuez. HAWKING, Stephen. Editorial Planeta. I.S.B.N. 84-8432-293-9. Barcelona. 2002.

El Universo I y II. ASIMOV, Isaac. (1971) Alianza Editorial. Madrid, 1991.

El universo para curiosos. HATHAWAY, Nancy. Editorial crítica. I.S.B.N: 84-7423-770-X. 1196.

El Universo y la Tierra. ARENAS, Róbel; and CALVO, Benjamín; and CASTAÑEDA, Leonardo; and CEPEDA, William; and DE GREIFF, Alexis; and HIGUERA, Armando, and IZQUIERDO, Arturo, and PORTILLA, José Gregorio. UN de Colombia, 2002.

El Universo. COMELLAS, JOSE LUIS. Colección Salvat, Temas Clave. 1985.

El Universo: su principio y su fin. Lloyd Motz. Trad. J.A. Planell y J. Rodellar. *Muy Interesante.* Ed. Bosch 1975.

El viaje a América de Alexander von Humboldt. Enrique Álvarez López (1965) Instituto Botánico A. J. Cavanilles.

El viaje de Humboldt en Colombia. Santiago Díaz Piedrahita (2000) Sociedad Geográfica de Colombia.

Elementos de astronomía de posición. PORTILLA BARBOSA, José Gregorio (2001). Ed: Unibiblos Colombia.

Elementos para la construcción de una visión estructurada de Caldas. Duque Escobar, Gonzalo (2014). Sociedad de Mejoras Públicas de Manizales, Manizales, Colombia.

EMPLEO TEMPRANO EN LA NUEVA SOCIEDAD. Duque-Escobar Gonzalo. Ed. Circular RAC 625. Colombia.

En Busca del Gato de Schrodinger. GRIBBIN, Jhon. Biblioteca Científica Salvat. 1986. *En torno a la Astronomía.* DE GORTARI, ELI. Editorial Grijalbo S. A. 1984.

En el Volcán Nevado del Huila: incertidumbre y éxodo. Duque Escobar, Gonzalo (2007). Página web GDE. pp. 1-5.

En órbita primer satélite colombiano: El Libertad 1. Duque Escobar, Gonzalo (2007) Editorial de la Circular 418 de la Red de Astronomía de Colombia RAC (418).

Enciclopedia Salvat Monitor. España. 1969.

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

Enfriamiento de estrellas de neutrones a través de la emisión de neutrinos producidos en el proceso Urca directo.

Álvarez Salazar, Carlos E. (2015). Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.

Enhorabuena, una rectora para la U.N. Duque Escobar, Gonzalo (2018) La Patria. Manizales.

Escudriñando la galaxia. Colombia, Cuestionario De Auto-Reflexión ISSN: 0121-9987, 1999 vol: fasc: págs: 1 – 4.

Mario Armando Higuera Garzon, Antonio Uribe, Eduardo Brieva, Universidad Nacional de Colombia. Referencia en El Tiempo.

Espectroscopia estelar sintética, aplicaciones astrofísicas. Rojas Acosta, Maria Elizabeth (2015) Maestría thesis, Universidad Nacional.

Esperanza y acción en La Hora del Planeta. Duque Escobar, Gonzalo (2011) Circular 604 de la Red de Astronomía de Colombia RAC (604).

Estrategia didáctica para la enseñanza de la Astronomía de Posición. Acosta Martínez, César Augusto (2019)

Trabajo de Grado dentro del marco del proyecto “Sintiendo la Astronomía”. Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.

Estrellas de neutrones y propagación de neutrinos. Muñoz Martínez, Luis Fernando (2011) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.

Estudio de calidad del cielo para observaciones astronómicas en Colombia. González Díaz, Danilo (2015) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.

Estudio de la formación de galaxias enanas esferoidales satélites de la vía láctea mediante la simulación de la colisión de dos galaxias. Cubillos Jara, Diana Judith (2013) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.

Estudio de la pérdida de masa asociada a un viento estelar y su efecto en la rotación de las estrellas jóvenes. Cuervo Osses, Ruby Margoth (2012). Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.

Estudio de la relación rotación actividad en estrellas Herbig Ae/Be. Avendaño Ramírez, Ronald Jamith (2018) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.

Estudio de las tasas de acreción para una muestra de estrellas T Tauri clásicas en el óptico. Restrepo Gaitán, Oscar Alberto (2012) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.

Estudio del magnetismo de cuerpos astronómicos. Morales Chaparro, Johana Katerine (2015). Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.

Estudio del origen y evolución de la galaxia sagitario mediante simulaciones numéricas de n-cuerpos. Martínez Barbosa, Carmen Adriana (2011) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.

Evolution and dynamic properties of photospheric plasma in solar active regions. Campos Rozo, José Iván (2017) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá.

Fiesta de Estrellas en la Tatacoa. Ed. Circular RAC 517. Colombia.

Fisiografía y geodinámica de los Andes de Colombia. Duque Escobar, Gonzalo and Duque Escobar, Eugenio (2016) [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource]

Fundamentos de economía para el constructor. Duque Escobar, Gonzalo (2007) In: Conferencia para Línea de Profundización de Construcción, Febrero de 2007, Manizales.

Fundamentos de economía y transportes. Book. Duque Escobar, Gonzalo (2006) Universidad Nacional de Colombia.

GALILEO GALILEI. José E. Marquina (2009) In: “Galileo, 400 años de observación con telescopio”. Revista Ciencia de la UNAM.

Galileo y la nueva astronomía. Por Gerald Holton Harvard University. In: “Introducción a los Conceptos y Teorías de las Ciencias Físicas”. Rev, Stephen G. Brush University of Maryland. Trad J. J. Aguilar Peris. Editorial Reverté, S.A. 1989.

Galileo. RESTON, James. Ediciones B. ISBN: 84-406-6697-7. Barcelona. 1996.

Generación de campos magnéticos primordiales / Generation of primordial magnetic fields. Hortua Orjuela, Héctor Javier (2011) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.

Geociencias y Medio Ambiente. Duque-Escobar, Gonzalo (2018). Recopilación temática. U.N. de Colombia Sede Manizales.

Geomecánica. Book. Duque Escobar, Gonzalo and Escobar Potes, Carlos Enrique (2016) Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales, Manizales, Colombia.

Geotecnia para el Trópico Andino. Duque Escobar, Gonzalo and Escobar Potes, Carlos Enrique. (2016) Universidad Nacional de Colombia. Manizales, Colombia.

Gestión ambiental del riesgo en el territorio. Duque Escobar, Gonzalo (2018) [Objeto de aprendizaje – Teaching

Resource]

Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2008) Documento de trabajo. UN de Col., Manizales, Caldas.

Gestión y política pública ambiental, para el patrimonio natural en Colombia. Álvarez León, Ricardo and González González, Henry and Duque Escobar, Gonzalo (2016) [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource]

Giordano Bruno. Un Universo infinito. BIRX, James. Revista Universo. Número 37. Página 36 a 41. Barcelona, ISSN: 1135-2876. Mayo de 1998.

Guerra o Paz, y disfunciones socio-ambientales en Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2016) Revista Civismo SMP Manizales, Colombia.

Hipótesis De Los Cuerpos Desacelerados. Villanueva Hernández, Pedro Javier (2008). Universidad Nacional De Colombia

HISTORIA DE LA ASTRONOMÍA EN MÉXICO. Fondo de Cultura Económica. I.S.B.N.: 968-16- 5769-1. Tercera edición. Méjico. 1995.

Historia de la Ciencia 1543 a 2001. GRIBBIN, John. (2005). Editorial Crítica. ISBN: 84-8432-607-1. Barcelona.

Historia del método científico moderno. VELA QUICO, Alejandro. Perú, 2007. En: <http://www.monografias.com>

Historia del Tiempo. HAWKING, Stephen. Editorial Crítica. Bogotá. 1988. Historia Universal. El Tiempo. I.S.B.N.: 958-95674-7-9. Colombia.

Horizontes Cósmicos. WAGONER, ROBERT V. y GOLDSMITH, DONAL W. Ed. Labor. 1985.

Huella hídrica en Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2018) [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource].

Huracanes y terremotos acechan. Duque Escobar, Gonzalo (2017) Razón Pública. Bogotá.

Implicaciones Cosmológicas del Colapso Gravitacional en Teorías de Gravedad Modificada f(R) Peralta González, César Daniel (2014). Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.

Inflación y recalentamiento en un modelo inflacionario gobernado por el campo de Higgs del Modelo Estándar Electrodebil. Romero Castellanos, Ana Rubiela (2014) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.

Influencia del efecto Hall en la evolución de campos magnéticos y equilibrios en la corteza de estrellas de neutrones. Ramírez Ramírez, Sebastián (2017). Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.

Ingeniería, incertidumbre y ética. Duque Escobar, Gonzalo (2018) [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource]

Instrumentación y Observaciones en Astrofísica de Altas Energías: el Cielo en Rayos X y Gamma. Jorge Mejía Cabeza. INPE. IV Simposio de Astronomía 11 a 16 octubre 2004.

Institucionalidad en el Paisaje Cultural Cafetero PCC. Duque Escobar, Gonzalo (2012) In: Taller Estudios del Paisaje, Manizales.

Intensa formación estelar en núcleos activos de galaxias, trazada por emisión de Hidrocarburos Aromáticos

Policíclicos y análisis del toroide como región en donde toma lugar esta actividad estelar / Burst of star formation in active galactic nuclei traced by the polycyclic aromatic hydrocarbon emission and analysis of the torus region as a likely place of this stellar activity. Higuera Garzón, Mario Armando (2011) Doctorado thesis, Universidad Nacional de Colombia.

Introducción a la Astronomía. BRIEVA BUSTILLO, EDUARDO. Empresa Editorial Universidad Nacional de Colombia. 1985.

Introducción a la Ciencia. ASIMOV, Isaac. Plaza & Janes Editores. 1973.

Institucionalidad en el Paisaje Cultural Cafetero PCC. Duque Escobar, Gonzalo (2012) In: Taller Internacional Estudios del Paisaje, 30 de julio de 2012, Manizales, Colombia.

Investigación estratégica en el PNN de los Nevados. Duque Escobar, Gonzalo (2017). La Patria. Manizales.

Isaac Newton. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. (2009) Observatorio Astronómico de Manizales OAM. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.

José María González Benito (1843-1903). Tomado de: Guía Astronómica: La astronomía en Colombia: perfil histórico. Fragmento Parte 3.

Julio Garavito Armero (1865-1920) Duque Escobar, Gonzalo (2007) Tomado de: Guía Astronómica: La astronomía en Colombia: perfil histórico. Fragmento Parte 4.

Juno auscultaría en Júpiter origen del Sistema Solar. Duque Escobar, Gonzalo (2016). Observatorio Astronómico de Manizales OAM, Manizales, Colombia.

La astronomía en América Precolombina. David Fernando Arbeláez Duque. Contexto de Astronomía OAM. U.N. de Colombia.

La astronomía de posición y tiempo. Perilla Triana, Wilson Yesid (2012):. Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

La astronomía en Colombia: perfil histórico. Duque Escobar, Gonzalo (2011) In: *Curso de Contexto en Astronomía.* U.N. de Colombia.

La astronomía en el país: hacia un despertar esperanzador. PORTILLA BARBOSA, José Gregorio En: Colombia. 1999. Muy Interesante. ISSN: 0122-3577 p.19 - 19 v.164.

La Astronomía en la apuesta de Medellín por la Ciencia. Gonzalo Duque-Escobar (2009) Circular RAC 504. Colombia.

La circunferencia en la observación del cielo. Ramírez Torres, Jaime (2012) Maestría thesis, U. Nacional de Colombia.

La constante cosmológica: ¿el gran error de Einstein? Juan Manuel Tejeiro Sarmiento (2006) UN Periódico. <http://historico.unperiodico.unal.edu.co/ediciones/81/16.htm>

La dimensión cultural como catalizadora del desarrollo. Duque Escobar, Gonzalo (2011) Circular RAC 601, Colombia.

La encrucijada ambiental de Manizales. Duque Escobar, Gonzalo (2017) Razón Pública. Bogotá, Colombia.

La encrucijada de la Universidad Pública. Duque Escobar, Gonzalo (2011) Circular RAC (633). Colombia.

La entrada de los germanos en la historia. HALLER, Johannes. Primera edición en español. Unión tipográfica hispano americana. UTEHA. México. 1960.

La expedición americana de Alexander von Humboldt y su contribución a la ciencia del siglo XIX. Rebok, Sandra (2003) Bulletin de l'Institut français d'études andines, V 32, N 3, Institut Français d'Études Andines. Lima.

"La Expedición Botánica", Díaz Piedrahita, Santiago (2009) Rev. Credencial Historia, No 240, Bogotá.

La Exploración de la Tierra desde el Espacio. ERIKSON, Jon. Editorial Mc Graw Hill. Serie de Divulgación Científica. España. 1991.

La Exploración del espacio. NICOLSON, IAN. Biblioteca Juvenil Bruguera. 1980.

La Luna. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. (2009) Observatorio Astronómico de Manizales OAM. U. N. de Colombia..

La región de líneas corales en galaxias seyfert 1 y seyfert 2. Portilla B., José Gregorio (2011). Doctorado thesis, Universidad Nacional de Colombia.

La rotación de la Tierra en la Edad Media. GONZÁLEZ, Vilbazo Kay E. Nicolás de Oresme. Revista Universo. Número 42. Página 30 a 35. Barcelona, ISSN: 1135-2876. Octubre de 1998.

La sangría intelectual de la universidad pública. Duque Escobar, Gonzalo (Sep 2009) Ed. Circular RAC 532.

La SMP de Manizales 107 años en la construcción del territorio. Duque Escobar, Gonzalo (2019). In: Panel: Las Sociedades de Mejoras Públicas y el Urbanismo. Auditorio Tulio Gómez Estrada. Universidad de Caldas.

La Teoría de la Relatividad. Armando Martínez Téllez, (2009).

La U.N. en Manizales: construyendo Ciudad y Región. Duque Escobar, Gonzalo (2009) Museo Interactivo Samoga, U.N. de Colombia Sede Manizales.

La UE frente al desafío del siglo XXI. Duque Escobar, Gonzalo (2018) Documento de trabajo. La Patria.

La Universidad en sentido histórico y sus singularidades de nación y de región. Unimedio Carlos- Enrique Ruiz (2012). En: *Las leyes del cielo.* BELMONTE, Juan Antonio, Ediciones Temas de Hoy, S.A. 1999, España.

La Universidad Tecnológica de Pereira y su Planetario U.T.P. – Ed. Circular RAC 457. Colombia.

Labor y proyección de la sesquicentenario U.N. de Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2016) La Patria, Manizales.

Las Cuatro Estaciones para reflexionar sobre cambio climático. Duque Escobar, Gonzalo (2011) Introito para el II Festival de Música Sacra. Interpretación Orquesta Sinfónica de Caldas y Agrupaciones Corales de Manizales. Centro de Convenciones Teatro los Fundadores

Las cuentas del agua. Duque Escobar, Gonzalo (2016). La Patria, Manizales, Colombia.

Las nuevas funciones del espacio rural. Gloria Patricia Zuluaga Sánchez (2000) In: *Ensayos Forhum* (15). U.N. de Colombia. Medellín.

Las nuevas rutas de la seda y el viraje geopolítico. Duque Escobar, Gonzalo (2019) Documento de discusión. La Patria.

Latinoamérica frente a la era Trump. Duque Escobar, Gonzalo (2017). La Patria, Manizales, Colombia.

Lentes gravitacionales de Janis-Newman-Winicour / Gravitational lenses of Janis-Newman-Winicour. Chaparro Orozco, Gustavo (2010) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.

Leyes de Kepler. Por Enzo De Bernardini · Astronomía Sur.

Logística del transporte para la RAP del Eje Cafetero. Duque Escobar, Gonzalo (2019) [Teaching Resource] *Los Albores de la Ciencia.* GOLDSTEIN, Thomas. Fondo Educativo Interamericano.. México. 1984.



[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

- Los albores de la civilización. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. (2016) Observatorio Astronómico de Manizales OAM. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.
- Los cuerpos celestes, una aproximación a los lineamientos de astronomía como asignatura. Rodríguez Vega, Germán Hernando (2012) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Los seis eclipses del 2020. Gonzalo Duque-Escobar. (2020) Observatorio Astronómico de Manizales OAM.
- Los quetos urbanos o la ciudad amable. Duque Escobar, Gonzalo (2010) La Patria. Manizales, Colombia.
- Manizales: El futuro de la ciudad. Duque Escobar, Gonzalo (2015) In: Cátedra de Historia Regional de Manizales "Bernardo Arias Trujillo". Universidad de Caldas, pp. 533-560.
- Manizales en la dinámica colonizadora (1846-1930). Albeiro Valencia Llano (1990). Fondo Editorial U de Caldas
- Manizales, ¿entrando a la era del conocimiento? Duque Escobar, Gonzalo (2019) [Objeto de aprendizaje - Teaching Resource]. U. N. de Colombia.
- Manizales: un diálogo con su territorio. Duque Escobar, Gonzalo (2014) Documento de discusión. Web SMP Manizales.
- Manual de geología para ingenieros. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. (2017) Universidad Nacional de Colombia. .
- Más espacio y oportunidades para el ciudadano. Duque Escobar, Gonzalo (2018) Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales.
- Más allá de las profecías Mayas. Duque Escobar, Gonzalo (2011) Circular Red Colombiana de Astronomía RAC (609).
- Mecánica estadística de la termodinámica de black shells. Rojas Castillo, Wilson Alexander (2018) Doctorado thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.
- Medio ambiente, mercado y Estado. Duque Escobar, Gonzalo (2014) La Patria, Manizales.
- "Memoria sobre la nivelación de las plantas que se cultivan en la vecindad del ecuador", Caldas, Francisco José (1803) Quito. Publicación de Colombiaaprende.edu.co 2006.
- MIS CREENCIAS. ALBERT EINSTEIN. Editado por Elaleph.com 2000.
- Mitología germánica ilustrada. BRANSTON, Brian. Título original Gods of the North Vergara Editorial. Barcelona. 1960.
- Modelo académico administrativo para el Planetario de Manizales. Torres Arango, Claudia (2002) Pregrado Thesis, Universidad Nacional de Colombia – Sede Manizales.
- Modelamiento de variaciones magnéticas en la superficie solar y su asociación a fuentes sísmicas generadas por flares. Alvarado Gómez, Julián David (2012) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Modelos Cosmológicos en Teorías de Gravedad Modificada  $f(R)$  / Cosmological Models in Modified  $f(R)$  Gravity Theories. Guarnizo Trilleras, Alejandro (2011) Maestría thesis, U. Nacional de Colombia.
- Monografía: Panorama de la astronomía moderna. ERNUSCHI, Félix, CODINA, Sayd. Secretaría General de los Estados Americanos. Tercera edición. Washington D.C. 1976.
- Muelle de Tribugá. Duque Escobar, Gonzalo (2019) In: El Tiempo. Bogotá.
- Museo Interactivo Samoga: 2001-2015. Duque Escobar, Gonzalo (2016) Balance de actividades en los 15 años de Samoga. Documentación. Manizales.
- Newton I y II. Gale E. Christianson. Trad. Domingo Santos. Salvat Editores. Barcelona 1987.
- No hay más terremotos, simplemente desastres más grandes. Duque Escobar, Gonzalo (2010) Circular RAC 554.
- Notas bibliográficas: La science des Chaldéens. Rutten, Marguerite (1960) Stvdivm, IV (9-10). pp. 207-208.
- NOTICIERO SIDERAL. GALILEO GALILEI. Edición Conmemorativa del IV Centenario de la publicación de Sidereus Nuncius. Traducción del latín, a partir de la edición de Venecia 1610: Ramón Núñez Centella y José Manuel Sánchez Ron. MUNCYT. La Coruña y Madrid, 2010.
- Nuestras aguas subterráneas. Duque Escobar, Gonzalo (2016) La Patria, Manizales, Colombia.
- Nuestro frágil patrimonio hídrico. Duque Escobar, Gonzalo (2015) La Patria. Manizales.
- Nueva Astronomía Recreativa. KOMAROV, V. Editorial MIR. Moscú. 1985. Observar el cielo. LEVY, David H. Editorial Planeta. Barcelona. 1995.
- "On the Magnetic Field Variations and HXR Emission of the First X-class Flare in the 24th Solar Cycle". Benjamin Calvo M (2011). Bulletin Of The American Astronomical Society.
- Obras completas de Francisco José de Caldas, R.I. de la Universidad Nacional de Colombia (1966) Bogotá, <http://www.bdigital.unal.edu.co/79/>
- Observatorio Astronómico Nacional. Ciencia y Memoria para la Sociedad. Badawi, Halim and Roa Triana, Julian and Torres Carreño, Guillermo Andrés and Cortés, Diego and Castell, Edmon (2008) [Exhibición - Show/Exhibition]

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

ONG: desarrollo sostenible, gestión del riesgo y cambio climático. Duque Escobar, Gonzalo (2019) In: Foro Ambiental de Alianza Suma: ONG y Desarrollo sostenible, Junio 5 de 2019, Universidad de Manizales.

Opciones de Caldas en medio ambiente, cultura y territorio. Duque Escobar, Gonzalo (2015) Revista Civismo. SMP Manizales. Caldas, Colombia.

Oportunidades en la economía del conocimiento. Duque Escobar, Gonzalo (2018). Revista Civismo SMP Manizales.

ÓRBITAS EN EL SISTEMA SOLAR: Leyes de Kepler, Cónicas, Movimiento orbital. Ana Inés Gómez de Castro. In: Introducción a la astronomía. Taller de Astronomía. Fac. de Ciencias Matemáticas. Universidad Complutense de Madrid.

Origen y evolución del concepto de Universo. Marín Beltrán, Jorge Humberto (2012) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.

Otra prueba de la TGR: el agujero negro en M87. Duque Escobar, Gonzalo (2019) [Teaching Resource] U.N. de Colombia.

Otra vez El Niño: ¿cómo adaptarnos? Duque Escobar, Gonzalo (2018) [Objeto de aprendizaje – Teaching Resource]

Pacífico biogeográfico y geoestratégico colombiano. Duque Escobar, Gonzalo (2018). In: Curso de Contexto CTS 2018, Febrero-Junio de 2018, Auditorio Juan Hurtado.

Paisaje y Región en la Tierra del Café. Duque Escobar, Gonzalo (2017 In: Congreso Regional de Mitigación al Calentamiento Global, Septiembre 11 a 13 de 2017, Teatro 8 de Junio de la Universidad de Caldas.

¿Para dónde va el Magdalena?: elementos sobre logística y transporte verde. Duque Escobar, Gonzalo (2015) In: III Foro público, miércoles 23 de septiembre de 2015. Honda, Tolima.

Parámetros de anisotropía en teoría  $f(R)$ . Sierra Moreno, Juan Sebastián (2016) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.

Perfil de masa de Abell 370 a partir de sus propiedades como Lente Gravitacional. Hurtado Mojica, Roger Anderson (2013) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.

Perturbaciones cosmológicas en teorías de gravedad escalar-tensor. Velásquez Celis, Joel José (2018) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.

Plan de CT&I y TIC en Caldas. Duque Escobar, Gonzalo (2013) La Patria, Manizales.

Planetas. ATTANER LÓPEZ, Eduardo. El libro de bolsillo Alianza Editorial. I.S.B.N.: 84-206-0543-3. Madrid. 1991.

Planetas del Sistema Solar. MÁROV, M. Editorial Mir Moscú. URSS. 1985.

Planificación estratégica para la movilidad. Duque Escobar, Gonzalo (2018). Documento de discusión. La Patria.

Plataformas Logísticas y Transporte Intermodal en Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2017) In: Conferencia Martes de SAI de la Sociedad Antioqueña de Ingenieros y Cámara de Comercio del Oriente Antioqueño, Septiembre 5 y 7 de 2017, Auditorio de la SAI y Cámara de Comercio del Oriente Antioqueño en Rionegro.

Plusvalía urbana para viabilizar el POT de Manizales. Duque Escobar, Gonzalo (2016). In: Foro-Debate: "Cargas y Beneficios en el Plan de Ordenamiento Territorial", Martes 6 de Septiembre de 2016, Recinto Concejo de Manizales.

Pobreza, brechas y ruralidad en Colombia. Rafael Isidro Parra-Peña S. Liliana Alejandra Ordóñez A. Camilo Andrés Acosta M. (2013) Coyuntura Económica.

Por la educación y la cultura en el pacto de gobernanza. Duque Escobar, Gonzalo (2010) La Patria. Manizales.

Por falta de bosques con el agua al cuello. Duque-Escobar, Gonzalo (2010) Red de Astronomía de Colombia RAC.

¿Por qué el Aeropuerto del Café? Duque Escobar, Gonzalo (2017) [Teaching Resource] U.N. de Colombia.

Practical Astronomy. FATH, EDWARD ARTHUR. Astronomical Series. Mac Graw-Hill. 1932 - 1948.

Primer alunizaje en la cara oculta de la Luna. Duque Escobar, Gonzalo (2019). Documentación. Especial para La Patria.

Principios de relatividad general. TEJEIRO SARMIENTO, Juan Manuel (2005), Ed: Unibiblos. Colombia.

Prioridades para más doctores investigadores en Colombia. Duque-Escobar, Gonzalo (Mzo 010) Ed. Circular RAC 509

Problema "ALEPH": planteamiento y solución a un problema topográfico. Duque Escobar, Gonzalo (1984). Documento U.N. Manizales, Caldas, Colombia.

Problema de los dos cuerpos extendidos en Relatividad General bajo la Aproximación Post-Newtoniana. Almonacid Guerrero, William Alexander (2013).. Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.

Problemas y ejercicios prácticos de Astronomía. VORONTSOV-VELIAMINOV, B. A. Editorial MIR. Moscú. 1979.

Procesos para una Astronomía que le aporte a Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2011) Circular de le Red de Astronomía de Colombia RAC (621).

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

- Producción de ondas Langmuir en los procesos de interacción fotosfera-cromosfera solar. Jiménez Martínez, Fabián Steven (2017) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.
- Propiedades métricas de sistemas rotantes relativistas con simetría axial. Torres Suárez, Sergio Andrés (2016). Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.
- Propuesta didáctica para la enseñanza de fenómenos de movimiento en el sistema sol- tierra – luna. González Valcárcel, Adriana Paola (2012). Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Propuesta didáctica para la enseñanza de la astronomía general en la escuela. Baquero Soler, Alvaro (2019). Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.
- Propuesta didáctica para la medición de la masa de un agujero negro utilizando imágenes astronómicas y la tercera ley de Kepler. Guerrero Peñuela, Germán (2014) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.
- Química I. MARTINEZ, Juan de Dios. PIME Editores. Bogotá. 1987.
- Raíces en el tiempo. La región caldense. Albeiro Valencia Llano (2010) Artes Gráficas Tizán
- Reflexiones sobre tecnología y medio ambiente. Duque Escobar, Gonzalo (1993). U. N. de Colombia - Sede Manizales.
- Reforma agraria y poder estatal (1958-1980). Acero Vargas, Camilo (2018). Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.
- Relatividad de Galileo. FERNÁNDEZ, Hugo. Curso de Relatividad Especial UTN de Argentina
- Relatividad Especial y General. GERBER, Willy H. (2005) Instituto de Física. Universidad Austral de Chile. In: Asociación de Astronomía y Astronáutica. Relatividad para niños. El Adelantado de Indiana, Diciembre 2007, n° 7, Relatividad para niños. CORRALES RODRIGÁÑEZ, Capi. El Adelantado de Indiana, Diciembre 2007, n° 7, [www.eladelantadodeindiana.co.nr](http://www.eladelantadodeindiana.co.nr)
- Relativity the special and general theory by Albert Einstein. Translated by Robert W. Lawson, D.Sc. F. Inst. P. University of Sheffield. Reston James. Galileo. Ediciones B, S. A. Barcelona. 1996.
- Riesgo en zonas de montaña por laderas inestables y amenaza volcánica. Duque Escobar, Gonzalo (1995) In: VII Curso Internacional sobre Microzonificación y su Aplicación al Planeamiento Urbano para la Mitigación de Desastres- CISMID, 16 de Octubre al 10 de Noviembre de 1995, Lima, Perú.
- Riesgos para el agua en la ecorregión cafetera de Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2018) UN Periódico. ISSN 16570987.
- Riesgo sísmico: los terremotos. Duque Escobar, Gonzalo (2007) In: III Foro Científico Colosario 75 años – Área de Matemáticas, Neira, Caldas 2007. Actualizado en 2018.
- Río Blanco, cuna de vida... Duque Escobar, Gonzalo (2018) In: II Encuentro Internacional de Paisajes Culturales, Octubre 17, 18 y 19 de 2018., Centro Cultural Banco de La República – Manizales.
- Riosucio mestiza e indígena. Duque Escobar, Gonzalo (2014) La Patria, Manizales.
- Samoga: lugar de asombro. Gonzalo Duque Escobar (2008). Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.
- Samoga: una década construyendo futuro de la mano de la ciencia. Duque Escobar, Gonzalo (2011) Circular RAC 628.
- Saturno, tormentas ecuatoriales. SÁNCHEZ LAVEGA, Agustín. En Revista Universo, Astronomía y Astronáutica. No. 30, octubre 1997. Barcelona.
- Secretos del Cosmos. ROMAN, Carlos A. Biblioteca Básica Salvat. 1969.
- Semblanza del Padre Adolfo Hoyos Ocampo. José Germán Hoyos (2008). Academia Caldense de Historia. Manizales.
- Semillero de astronomía: un acercamiento a la ciencia y la investigación en la I.E Yermo y Parres de la ciudad de Medellín. Giraldo Cano, Ana María (2014) Documento de trabajo. Sin Definir, Medellín.
- Significado de un bisiestro y balance del 2016. Duque Escobar, Gonzalo (2017) La Patria, Manizales, Colombia.
- Siete lustros de la Sociedad Julio Gravitó. Duque Escobar, Gonzalo (2011). Circular RAC (612). Colombia.
- Simulación de colisión de dos galaxias para estudiar la formación de las galaxias enanas esferoidales satélites de la Vía Láctea. Bohórquez Pacheco, Omar Alfonso (2016) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá.
- Simulaciones numéricas de n-cuerpos de la formación de la galaxia enana sagitario y sus corrientes de marea a partir de un progenitor con forma de disco estelar. Camargo Camargo, Yeimy Dallana (2015) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.
- Sinergia y pertinencia en las ciencias básicas. Duque Escobar, Gonzalo (2011) Circular RAC 599, Colombia.
- Sismo, bahareque y laderas. Duque Escobar, Gonzalo (1999) [Teaching Resource]. U.N. de Colombia.
- Sismos y volcanes en Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2010) Documento de trabajo. Universidad Nacional de

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

Colombia – Sede Manizales.

Sistema Ferroviario para la Región Andina de Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2015) In: *Conmemoración del Día del Medio Ambiente, Viernes 12 de Junio de 2015*, Instituto Universitario de Caldas. Manizales, Colombia.

Sistema urbano y ciudad región del Eje Cafetero. Duque Escobar, Gonzalo (2018) In: *Sesión Conjunta de Concejos Municipales de la RAP del Eje Cafetero, 26 de Noviembre de 2018.*, Termales El Otoño, Manizales.

Sobre Hombros de Gigantes. HOYOS Patiño, Fabián. Hombre Nuevo Editores E. U. Colombia. 2001.

Sobre la nueva Ley de Ciencia, Tecnología e Innovación. Duque Escobar, Gonzalo (Abril 2009) Ed. Circular RAC 510.

Sobre la teoría especial de la relatividad. TEJEIRO SARMIENTO, Juan Manuel (2005). Ed: Panamericana, Bogotá.

Sobre la teoría especial y general de la relatividad. EINSTEIN, Albert. *The Albert Einstein Archives*, Trad: Miguel Paredes Larrucea. The Jewish National & University. Library. The Hebrew University of Jerusalem, Israel. Alianza Editorial, S.A. Madrid.

Sobre ríos y canales - Aspectos geográficos y cartográficos en el legado de Humboldt. Ulrike Leitner. (2017) *HiN XVIII*, 34.

Sol, clima y calentamiento global. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. (2014) *La Patria*.

Sol, lunas y planetas. Claudia Torres Arango. *Contexto de Astronomía del OAM*. U.N. de Colombia, Sede Manizales.

Sol, Lunas y Planetas. KEPLER, ERHARD. Biblioteca Científica Salvat. 1986.

Stephen Hawking. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2009) Observatorio Astronómico de Manizales OAM. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.

Subregiones del departamento de Caldas: Perfiles. Duque Escobar, Gonzalo (2016) In: *Bases para el Plan de Desarrollo de Caldas 2016-2019*. Secretaría de Planeación de Caldas.

Taller de Astronomía. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo. (1988) *Multitaller de Ciencia y Tecnología*. U. N. de Colombia..

Termodinámica de Agujeros Negros de Kerr en la Aproximación Euclidiana de Gibbons-Hawking. Serna Bedoya, Juan Camilo (2016) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá.

Teoría de perturbaciones cosmológicas en la era de radiación. Vija Suarez, Oscar Javier (2017). Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.

Teoría de perturbaciones cosmológicas en teorías de gravedad modificada  $f(R)$ . Molano Moreno, Daniel Alejandro (2015) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia-Bogotá.

Teoría del Todo. BARROW, Jhon D. Biblioteca de Bolsillo Editorial Crítica. 2004.

Territorio y Región: Caldas en la Ecorregión Cafetera. Duque Escobar, Gonzalo (2014) In: *Celebración de los 102 años de fundación de la SMP de Manizales, Junio 27 y 28 de 2014*, Auditorio José Restrepo Restrepo de la SMP, Manizales.

The Life of Albert Einstein. HOFREITER, Liz. ETE 100 03. Bradley University. August 29, 2005

Thermo Field Dynamics, Boulware and Hartle-Hawking States. Muñoz Arboleda, Diego Felipe (2017) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá.

TIMEO. Edición de Patricio de Azcárate. In *Platón, Obras completas*, Tomo 6, Madrid 1872.

Tránsito de Mercurio. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo (2016) [Teaching Resource] U. N. de Colombia, Sede Manizales.

Tránsito de Venus del 8/06/2004. Duque Escobar, Gonzalo (2004) Documento de trabajo. Red de Astronomía de Colombia RAC, Manizales, Caldas, Colombia.

Tránsitos Planetarios. Cálculo distancia Tierra-Sol a partir de imágenes de tránsitos planetas interiores (Venus o Mercurio). Miguel Ángel Pío Jiménez; Juan Carlos Casado; Miquel Serra-Ricart; Lorrain Halon; y Luciano Nicastro. ACTIVIDAD 8. Instituto de Astrofísica de Canarias y FECYT; España.

Trayectoria de partículas cerca de un agujero negro cargado inspirado en geometría no-conmutativa. Calderón Sánchez, Kenyi Javier (2013) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Tribugá: ¿es posible el desarrollo sostenible? Duque Escobar, Gonzalo (2019) Documento de discusión. Razón Pública, Bogotá, Colombia.

Tycho Brahe. José Maza Sancho (2016). Curso EH2801. Departamento de Astronomía. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. UNIVERSIDAD DE CHILE.

UMBRA: la Ecorregión Cafetera en los Mundos de Samoga. DUQUE ESCOBAR, Gonzalo Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.

Un canal bioceánico por el Chocó biogeográfico. Duque Escobar, Gonzalo (2018) In: *I Seminario-Taller*

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

[Escriba aquí]

*Internacional sobre el Canal Interoceánico del Chocó, Julio 30 y 31 y Agosto 1 de 2018, Universidad Tecnológica de Chocó, Quibdó.*

*Un contexto para el puerto de aguas profundas en Tribugá, Colombia. Duque Escobar, Gonzalo (2007) In: Concejo Municipal de Manizales. Documento U.N. de Colombia-SMP Manizales. Manizales, Caldas, Colombia.*

*Un modelo educativo anacrónico y aburrido. Duque Escobar, Gonzalo (2011). Circular RAC 611. Colombia.*

*Un modelo relativista para sistemas satelitales de navegación global. Toledo Cortés, Santiago (2015) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá.*

*"Un modelo solar multi-politrópico de exponente radialmente variable". CALVO M, Benjamín (2010). Revista Colombiana de Física ISSN: 0120-2650 Ed: Revista De La Sociedad Colombiana de Física. Colombia.*

*Un nuevo modelo educativo. Duque Escobar, Gonzalo (2013) La Patria. Manizales.*

*¿Un único esquema de explicación para las Ciencias Empíricas? Carolina García Sánchez (2016). Disertaciones (5) 2, 28- 38. Fundación Dialnet. Universidad de La Rioja.*

*Un universo infinito. BRIX, James. Revista Universo. No. 37, mayo 1998. Página 36 a 41. España. 1998.*

*Una nueva sociedad, el desafío para un cambio sostenible. Duque Escobar, Gonzalo (2010). Circular 583 de la Red de Astronomía de Colombia RAC.*

*Una política ambiental pública para Manizales, con gestión del riesgo por sismos, volcanes y laderas. Duque Escobar, Gonzalo (2012) Universidad de Caldas-Concejo de Manizales.*

*Una transición de la geometría a la trigonometría, utilizando problemas históricos de la astronomía. Caballero Soler, Oscar Orlando (2013) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.*

*Universidad, educación y región. Duque Escobar, Gonzalo (2012) La Patria.*

*Viaje a través del Universo. Ediciones Folio, Time-Life. Tomos 3, 4, 35, 36. Barcelona. 1996. Vida en otros mundos. PUERTA RESTREPO, Germán. Editorial Planeta.*

*Viajes a las regiones equinociales del nuevo continente. Humboldt, A. B. (1826). Francia, Casa de Rosa: [s.d]*

*Visión Colombia Segundo Centenario: 2019. Departamento Nacional de Planeación DNP de Colombia (2019). In: Archivo CEPAL*

*Visión retrospectiva y prospectiva del desarrollo regional. Duque Escobar, Gonzalo (2010) In: Primer Foro Latinoamericano de Historia y Cultura de un Continente, 25 y 26 de Noviembre de 2010, Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.*

*Vuelo interplanetario: una manera de implementar la astronomía en la educación. Orjuela León, Natalia del Pilar (2012) Maestría thesis, Universidad Nacional de Colombia.*

*Vulnerabilidad de las laderas de Manizales. Duque Escobar, Gonzalo (2017) Presentación ante la Comisión Cuarta del Concejo de Manizales, del Jueves 13 de Mayo de 2017.*

\*\*\*

## Lecturas complementarias

	<p><b>Geociencias y Medio ambiente   godues</b></p> <p><b>Libros y Documentos de Gonzalo Duque-Escobar</b></p> <p><b>Publicaciones en Repositorio U.N. de Colombia</b></p> <p><b>Diálogos con el territorio y gestión de riesgos.</b></p> <p><b>Enlaces del Observatorio Astronómico de Manizales OAM</b></p> <p><b>Libros de la U.N. de Colombia más descargados en 2019.</b></p>
---	--

...

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA (1867-2017)



GUÍA ASTRONÓMICA

Gonzalo Duque-Escobar
MANIZALES, 2020

https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3252

Table with 2 columns listing annexes: Anexo 1: Colombia tropical: ¿y el agua qué?, Anexo 2: Calentamiento global en Colombia, Anexo 3: Aspectos geofísicos y amenazas naturales en los Andes de Colombia, Anexo 4: El camino a las estrellas, Anexo 5: Isaac Newton, Anexo 6: Albert Einstein, Anexo 7: Stephen Hawking, Anexo 8: Geotecnia para el trópico andino, Anexo 9: Preservación Ambiental e Hídrica del Paisaje Cultural Cafetero, Anexo 10: Eje Cafetero: cambio climático y vulnerabilidad territorial, Anexo 11: Gestión del riesgo natural y el caso de Colombia, Anexo 12: La Luna, Anexo 13: Cultura y Astronomía (C&A), Anexo 14: Astronomía en La Edad Media y el Renacimiento, Anexo 15: Sol, lunas y planetas, Anexo 16: Manual de geología para ingenieros, Anexo 17: Riesgo sísmico: los terremotos, Anexo 18: CTS, Economía y Territorio, Anexo 19: Cultura y Turismo en Caldas, Anexo 20: El Río Cauca y el desarrollo de la región, Anexo 21: Videos: Temas de Astronomía y Medio Ambiente, Anexo 22: UMBRA: la Ecorregión Cafetera en los Mundos de Samoga. Includes 'Enlaces U.N.: Textos "verdes"' and 'El Autor: Gonzalo Duque-Escobar'.

HOME:

https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/3252

CONTENIDO: PRESENTACIÓN. GUÍA Nº 1. HISTORIA DE LA ASTRONOMÍA. GUÍA Nº 2. COORDENADAS ASTRONÓMICAS. GUÍA Nº 3. ELEMENTOS DE MECÁNICA PLANETARIA. GUÍA Nº 4. TIEMPO Y CALENDARIOS. GUÍA Nº 5. EL SISTEMA SOLAR. GUÍA Nº 6. SOL, LUNAS Y PLANETAS. GUÍA Nº 7. COSMOGRAFÍA. GUÍA Nº 8. ELEMENTOS DE ASTROFÍSICA. GUÍA Nº 9. LAS ESTRELLAS. GUÍA Nº 10. LAS GALAXIAS. GUÍA Nº 11. EL UNIVERSO. GUÍA Nº 12. TEORÍAS COSMOGÓNICAS. GUÍA Nº 13. ASTRONOMÍA EN COLOMBIA. BIBLIOGRAFÍA

A la Universidad Nacional de Colombia en sus 150 años.

