

# el solar de las miradas

el solar de las miradas

Horacio Tignanelli



La ULP es una universidad provincial, sus recursos económicos provienen del Estado provincial. Ha sido creada con el propósito de formar profesionales en áreas estratégicas asociadas al crecimiento y progreso de la Provincia de San Luis.

Su Misión es ser el instrumento provincial para darle a cada habitante de San Luis la oportunidad de formarse intelectual, social y culturalmente.

Siguiendo este criterio, se dictan carreras relacionadas con el Cine –en concordancia con la ley de promoción de la Industria del Cine– y el Desarrollo de Software conforme a la adhesión de la provincia a la Ley Nacional de Promoción del Software. Asimismo, se forman profesionales en las áreas de Turismo, Agro, empresa y Medioambiente, acompañando la política estratégica de la provincia.

Nuestra Universidad, en el marco de su misión, realiza una variedad de actividades educativas, entre las cuales se destaca el "Parque Astronómico La Punta" (PALP) cuyo objetivo es la divulgación de conceptos fundamentales de la Astronomía, para fomentar el interés por las Ciencias Naturales.



de Universidad  
La PUNTA

el solar de las miradas

el solar de las miradas



# el solar de las miradas

de Horacio Tignanelli



Tignanelli, Horacio Luis

El solar de las miradas. - 1a ed. - La Punta : Universidad de la Punta, 2010.  
E-Book.

ISBN 978-987-1760-09-1

1. Astronomía. I. Título  
CDD 133.5

Fecha de catalogación: 15/04/2013

Impreso en Argentina

Diseño de tapa e interior:  
Secretaría de Comunicación - Universidad de La Punta

Esta edición de 2000 ejemplares se imprimieron A.B.R.N. Producciones  
Gráficas SRL en el mes de Marzo de 2007

# dedicatoria

*A los astrónomos Alejandro Feinstein, de La Plata, y Hugo Mira,  
de San Juan, quienes me enseñaron a observar el cielo.*





prólogos

prólogos

Palabras de

# Alicia Bañuelos

El Parque Astronómico La Punta (PALP) tiene como objetivo contribuir a la difusión de algunos conceptos básicos de la astronomía observacional y, a través de ella, contribuir a la mejora de la enseñanza de las ciencias naturales.

Con ese propósito, la Universidad de La Punta (ULP) tomó la iniciativa de despertar y profundizar el interés en el conocimiento de las ciencias y, en particular, recuperar la motivación por apreciar y buscar entender los fenómenos celestes.

El físico británico Stephen Hawking dice en el libro *Agujeros negros y pequeños universos* (Ed. Planeta, 1994): “Como es imposible evitar que la ciencia y la tecnología transformen nuestro mundo, debemos tratar de asegurarnos que los cambios se operen en la dirección correcta. En una sociedad democrática esto significa que el público tiene que tener los conocimientos básicos de la ciencia para tomar decisiones informadas”.

Como compartimos plenamente esa idea de Hawking, el Parque Astronómico es una de sus contribuciones de la ULP para su concreción en nuestro medio.

Los científicos estiman que la edad de nuestro universo es de unos 15.000 millones de años. La edad de nuestro planeta, en cambio, se calcula en 4.500 millones de años. Pero sólo hace 11 mil años, ayer nomás, nuestra joven especie, domesticó animales y plantas, es decir descubrimos la agricultura. Debimos entender cómo se sucedían las estaciones para adecuar las siembras y las cosechas. Nos dimos cuenta tempranamente que necesitamos entender y predecir los fenómenos naturales.



**Alicia Bañuelos es argentina, doctora en física y Rectora de la Universidad de La Punta.**

Evolucionamos desde las cavernas para admirar el universo que nos rodea, para regocijarnos al descubrir leyes que lo describen y para entender que el conocimiento es esencial para la supervivencia. Y hemos aprendido que el progreso y el mejoramiento de las ciencias están íntimamente relacionados con la prosperidad de los pueblos.

Por esto, en San Luis, en la Universidad de la Punta, hemos decidido construir este Parque, para implementar un plan de alfabetización astronómica ayudando a que los conceptos básicos de las ciencias naturales se incorporen en todas las aulas sanluiseñas, porque el conocimiento es imprescindible para la supervivencia, en un sentido mucho más amplio que para nuestros antepasados de la edad de piedra.

Para emprender el camino de mejorar el aprendizaje de las ciencias naturales, hemos convocado a trabajar con nosotros al Complejo Astronómico El Leoncito, a su director, Hugo Levato, un gran amigo, y a través de él a Horacio Tignanelli, astrónomo involucrado y comprometido en encontrar la mejor manera de enseñar las ciencias naturales y la astronomía en particular.

De esta manera, nuestra Universidad busca contribuir a que los niños y jóvenes sanluiseños encuentren alegría en el conocimiento y estén preparados para enfrentar la superviven-

cia del siglo XXI, que seguramente se librarán con la materia gris entrenada.

Un nuevo paso en el camino que hemos emprendido, es la concreción de este libro, donde Tignanelli, director académico de este Proyecto, describe las características de uno de los componentes principales del PALP: *el Solar de las Miradas*, el primer observatorio astronómico a ojo desnudo levantado en el país.

Mi deseo es que los visitantes del Parque Astronómico La Punta y los lectores de este hermoso texto, se maravillen del esfuerzo realizado por nuestra especie para entender el universo que nos rodea, recordando que ayer nomás recorríamos el planeta cazando, recolectando semillas, teniendo en claro que sólo cooperando entre nosotros lograríamos vencer lo desconocido, dominar el miedo, subyugar las fieras y frenar la ignorancia. Esa estrategia es la que nos ha conducido hasta el presente.

**Alicia Bañuelos**

**La Punta, Provincia de San Luis  
República Argentina  
2006**

Palabras de  
**Hugo Levato**

En este libro se presenta parte de la instrumentación astronómica de las etapas pre-telescópicas de la civilización.

Los instrumentos exhibidos en el Solar de las Miradas son un fiel reflejo de la inteligencia, capacidad de observación y percepción de diversas culturas antiguas.

Quien pasee por el Parque Astronómico de la Universidad de La Punta, y se apropie de la belleza y funcionalidad de los artefactos de su observatorio a ojo desnudo, le resultará dificultoso concebir el salto tecnológico que se ha producido en la astronomía, no sólo desde la invención del telescopio, sino en apenas los últimos lustros.

Los telescopios, que hoy los astrónomos controlan de forma remota, en ocasiones desde una sala de control ubicada a miles de kilómetros de distancia del instrumento, disponen de una excepcional vastedad de equipamiento auxiliar,

**Hugo Levato es argentino, doctor en astronomía, investigador del CONICET y Director del Complejo Astronómico El Leoncito (CASLEO).**



posible de adosar a alguno de sus focos y que, en definitiva, son los que permiten analizar la radiación proveniente de los astros.

Entre esos instrumentos anexos se destacan espectrógrafos, foto-polarímetros, cámaras fotográficas directas, interferómetros y coronógrafos, entre otros.

Por su parte, los mismos telescopios han experimentado tales transformaciones tecnológicas, que asombran en cuanto el profesional indaga en sus características técnicas.

Demos un ejemplo. Los espejos primarios usados hoy en los telescopios reflectores son tan delgados como una lámina si se los compara con su diámetro. Esta propiedad es debida a que tales espejos se apoyan sobre pistones comandados por microprocesadores que moviéndose a una alta frecuencia deforman la superficie óptica del espejo para contrarrestar los efectos nocivos que la atmósfera terrestre tiene sobre el frente de onda emitido por un astro lejano.

Sucede que un frente de onda perfecto es casi plano (cuando la onda luminosa llega a la Tierra emitida por el objeto astronómico bajo observación) pero a causa de que la atmósfera presenta fluctuaciones de temperatura, el índice de refracción de las distintas

capas de aire cambia y, por lo tanto, los rayos son refractados en sutiles diferentes direcciones. Esto hace que, cuando la onda llega al observador, la imagen de una estrella no sea un punto tal como la vería un astronauta fuera de la atmósfera, sino un pequeñísimo disco. Cuanto más pequeño sea ese disco estelar mejor es considerado el sitio donde se encuentra ubicado el telescopio para la realización de observaciones astronómicas.

Pero la tecnología a través de un proceso denominado óptica adaptable permite, deformando la superficie del espejo primario del telescopio, volver a reproducir el frente de onda plano que originalmente fue deteriorado por la atmósfera.

Hoy, y a través de esta técnica, se obtiene mejor definición mediante telescopios ubicados sobre la superficie terrestre que con el gran telescopio espacial Hubble, ubicado a 500 km sobre la superficie terrestre.

Otro ejemplo lo da el posicionado de los telescopios sobre la superficie del planeta, un proceso denominado puesta en estación.

En ese procedimiento, tradicionalmente se busca que el eje polar de la montura ecuatorial de un telescopio apuntase perfectamente al polo celeste elevado para permitir encontrar los objetos en el cielo, después de proporcionarle al telescopio

las coordenadas del mismo. Esta táctica ha cambiado sustancialmente a través del uso de los instrumentos GPS, siglas de Global Positioning System.

En la actualidad, hasta los telescopios pequeños se ubican de cualquier forma, dejando que el GPS y una computadora se encargan de orientarlos en la forma adecuada para permitir el correcto direccionamiento a los astros deseados.

Es decir, de los telescopios modernos cuelga una madeja de cables que llevan imágenes de TV, señales de los fotones adquiridos de los astros observados, señales que informan sobre la óptica y electrónica del instrumento, medidores de temperaturas en las distintas partes del telescopio y otros parámetros de control técnico.

Los equipos auxiliares indicados anteriormente son de una sofisticación impensable décadas atrás. Por ejemplo, en estos días es posible observar, en una sola exposición, más de 600 astros al mismo tiempo a través del uso correcto de fibra óptica. Los instrumentos auxiliares pueden ubicarse alejados del telescopio y la luz se lleva hasta ellos a través de esas fibras, las cuales permitieron mejorar sustancialmente la estabilidad mecánica y térmica necesaria en muchos equipos auxiliares.

Esta situación tecnológica, que se ha incrementado exponencialmente en los últimos veinte años ha cambiado las relaciones humanas entre los protagonistas de la astronomía.

Hace décadas, los astrónomos observacionales realizaban todos los procedimientos en lo que a sus observaciones respecta.

Esto es, por ejemplo, el astrónomo tomaba sus propias fotografías. Subido a una alta escalera, pasaba varias horas con su ojo en el ocular.

Se fijaba la visión en un astro a través de un retículo, para de ese modo guiar el telescopio mediante finos controles de movimiento, que desplazaban al instrumento pocos segundos de arco en el cielo. De esa manera, durante todo el tiempo de observación, el astro permanecía en la posición que sería finalmente registrado por la placa fotográfica.

Más tarde, concurrían al laboratorio fotográfico, que ya habían preparado con anterioridad, revelaban la placa y comenzaban a efectuar las mediciones y correcciones necesarias sobre la imagen que había quedado registrada en la fotografía.

En otras palabras, el astrónomo profesional, observador del cielo, era “dueño” de todo el proceso de trabajo.

En la actualidad, todo ha cambiado.

Los astrónomos perdieron absolutamente el control sobre el proceso de observación.

Por ejemplo, el astrónomo ya no posee (tampoco tiene por qué poseer) suficientes conocimientos de electrónica, computación y control automático, para convertirse en el actor principal de ese proceso.

En las ciencias astronómicas, como en otras, son los ingenieros especializados quienes han adquirido una importancia fundamental en labor científica. Hoy, son ingenieros en diferentes procesos y tecnologías los que deben trabajar a la par del astrónomo para lograr que la metodología de una observación astronómica sea la deseada.

Este estado de la situación aún no fue debidamente asimilada por muchos astrónomos, quienes se sienten “relegados” de la metodología básica, tradicional, del trabajo astronómico. Quizás, esto exija una reflexión para los sociólogos que analicen el proceso de investigación astronómica, similar al que también ocurre en otras disciplinas científicas, en las que físicos e ingenieros son imprescindibles.

En otras palabras, en el presente existen astrónomos que consideran a los instrumentos de observación celeste como “cajas negras” por las que entra luz y sale un dato, sin preocupación alguna por los aspectos tecnológicos que definen a esos instrumentos.

En principio, es lo mejor que pueden hacer, a menos que los intereses profesionales de algunos de ellos se destinen hacia el desarrollo de nuevos instrumentos, donde entonces podrán desarrollar toda su eficacia para optimizar el rendimiento de los aparatos actuales y diseñar instrumentos originales para nuevas investigaciones de los astros.

Resumiendo la astronomía de hoy cambió sus herramientas de observación, las mejoró hasta el punto de no perder un solo fotón de los que arriban a los modernos detectores. Pero además, esa tecnología cambió también la forma de observación astronómica, incrementó la eficacia del proceso a la vez que modificó la composición y la relación entre los actores. De esa forma, un observatorio astronómico hoy se destaca por la buena e inteligente relación entre sus protagonistas: astrónomos, ingenieros, físicos, técnicos y, también, educadores y divulgadores científicos. Resulta que un buen equipo, esto es, que amalgame a todos ellos, hace la diferencia muchas veces entre un observatorio importante y otro que no lo es.

Ante esta situación, llegar hasta el Solar de las Miradas es una experiencia trascendente por dos motivos. Por una parte, porque los instrumentos que allí se muestran fueron también “cajas negras” para varias culturas antiguas, forzaron la creación de nuevos y potentes modelos para explicar el universo y también cambiaron la relación entre el cielo y los hombres. Por otra parte, erigir en los comienzos del siglo XXI un observatorio a ojo desnudo, como el Solar de las Miradas, muestra y demuestra que aún somos capaces de recuperar los primeros esfuerzos del hombre por entrenar su visión del cosmos, ese primer paso esencial en el desarrollo de la técnica de observación astronómica, base de nuestro conocimiento del universo.

**Hugo Levato**

**San Juan, Provincia de San Juan  
República Argentina  
2006**

Palabras de

# Horacio Tignanelli

Considero que este texto monográfico forma parte del *Solar de las Miradas*, ya que contiene el relato de su génesis y una breve descripción de los artefactos incluidos.

En una primera sección se presentan algunos de los aspectos más relevantes de la historia de la astronomía, los cuales desembocaron en el diseño y construcción de los instrumentos exhibidos.

Luego, describimos el Parque Astronómico de La Punta, el observatorio a ojo desnudo y finalmente a cada uno de los dispositivos que montamos en él.

Incluimos también un listado de referencias bibliográficas y un breve glosario de los términos y vocablos astronómicos usados en el texto.

Antes de iniciar su lectura, quisiera destacar especialmente que durante el desarrollo del proyecto del Solar de las Miradas en San Luis, hemos recibido el permanente apoyo y colaboración del Complejo Astronómico El Leoncito y de la Fundación para el Avance de la Astronomía (FUPACA), dos instituciones de gran importancia para la concreción de esta empresa.



**Horacio Tignanelli, autor del proyecto, es argentino, licenciado en Astronomía y profesor de la ULP.**



Mesa de trabajo en el taller de Tarquini, donde se diseñaron los bancos temáticos y se dio forma definitiva a todos los dispositivos del Solar de las Miradas

Por otra parte, me complace resaltar la labor de los artistas sanluiseños Bettina Tarquini y Juan Cruz Borra, quienes recrean los instrumentos y dispositivos e hicieron de nuestros esquemas, croquis y maquetas, auténticas obras de arte. También quiero mencionar el empeño y dedicación de Conrado Kurtz, quien ha colaborado con nosotros en la tarea de supervisión y montaje de los aparatos.

Junto a Tarquini y Borra, silenciosa pero profesionalmente, trabajó un grupo de operarios que desmalezaron el predio, lo asentaron, aplanaron, parquizaron y luego construyeron las bases para los instrumentos.

Finalmente, el lector debe saber que este proyecto hubiese sido imposible sin la visión de Alicia Bañuelos, Rectora de la Universidad de la Punta, y la colaboración y apoyo persistente del personal de las diferentes Secretarías de la ULP: General, Académica, Extensión, Comunicación Institucional, Ciencia y Técnica, y Legal y Técnica. A todos ellos mi más profundo reconocimiento.



- Por último, quiero dejar asentado mi agradecimiento personal a las siguientes personas:
- A los astrónomos investigadores Roberto Aquilano (Rosario, Argentina), Felicitas Arias (París, Francia), Alejandro Feinstein (La Plata, Argentina), Hugo Levato (San Juan, Argentina), Stella Malaroda (San Juan, Argentina), Federico Podestá (San Juan, Argentina), Claudio Steinmayer (Ravenna, Italia), y Rubén Vázquez (Buenos Aires, Argentina), por su mirada crítica y respaldo.
  - A los profesores Alejandro Blain (Quilmes), Javier Feu (Claypole), Mónica Guarino (25 de Mayo), Hugo Labate (San Martín), Mónica Ortalda (Berazategui), Ernesto Scheiner (Hurlingham), Armando Zandanel (Chivilcoy) y Michele Bonadiman (Ferrara, Italia), por su apoyo y colaboración.
  - A la profesora Romina Costa por su colaboración en el armado de este texto. Y a las educadoras Ana Inés Predán y Marlene Curi, que tanto tuvieron que ver con la génesis del nombre del proyecto.
  - A todos mis alumnos de Astronomía y Astrofísica de los últimos años, que en diferentes oportunidades construyeron maquetas de algunos de los instrumentos que hoy forman parte del Solar de las Miradas, como parte de los trabajos prácticos de esas materias. Se trata de estudiantes de los profesorados de Física y Matemática de los Institutos Mariano Acosta, Joaquín



**DE ARRIBA HACIA ABAJO.** - Se muestra una imagen de la preparación del suelo para el encofrado que dará forma a las bases de los instrumentos. - Un par de operarios lleva el pilar del Sextante astronómico triangular. - Una vez desmontado el predio se procedió a la construcción de la Torre de Observación. - En esta imagen se ve un momento de la construcción del Plinto de Tolomeo.



**SUPERIOR.** La terminación de los instrumentos se realizó en el mismo predio. **INFERIOR.** Acabando el cuadrante del Instrumento de pasos y los dibujos que rodean la base del Gnomón.



V. González y Alicia Moreau de Justo de la Secretaría de Educación del Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, y también de los estudiantes del Instituto N° 28 de la ciudad de 25 de Mayo, en la Provincia de Buenos Aires.

- A los estudiantes de Turismo de la Universidad de La Punta, encargados de acompañar a los visitantes en el Solar de las Miradas, para quienes la astronomía irrumpió en sus vidas de modo insospechado y que han conseguido maravillarse a miles de personas desde la inauguración del complejo.

**Horacio Tignanelli**

La Punta, Provincia de San Luis  
República Argentina  
2006

Primer grupo de guías del Parque Astronómico La Punta, posando junto al Dr. Hugo Levato.





la mirada de la historia

la mirada de la historia

# 1. el cielo

*“Vea Usted, en el parque de Jaipur se alzan las máquinas de un sultán del siglo dieciocho, y cualquier manual científico o guía de turismo las describe como aparatos destinados a la observación de los astros, cosa cierta y evidente y de mármol, pero también hay la imagen del mundo como pudo sentirla Jai Singh, como la siente el que respira lentamente la noche pelirroja donde se desplazan las anguilas; esas máquinas no sólo fueron erigidas para medir derroteros astrales, domesticar tanta distancia insolente; otra cosa debió soñar Jai Singh alzado como un guerrillero de absoluto contra la fatalidad astrológica que guiaba su estirpe, que decidía los nacimientos y las desfloraciones y las guerras; sus máquinas hicieron frente a un destino impuesto desde afuera, al Pentágono de galaxias y constelaciones colonizando al hombre libre, sus artificios de piedra y bronce fueron las ametralladoras de la verdadera ciencia, la gran respuesta de una imagen total frente a la tiranía de planetas y conjunciones y ascendentes; el hombre Jai Singh, pequeño sultán de un vago reino declinante, hizo frente al dragón de tantos ojos, contestó a la fatalidad inhumana con la provocación del mortal al toro cósmico, decidió encauzar la luz astral, atraparla en retortas y hélices y rampas, cortarle las uñas que sangraban a su raza; y todo lo que midió y clasificó y nombró, toda su astronomía en pergaminos iluminados era una astronomía de la imagen, una ciencia de la imagen total, salto de la víspera al presente, del esclavo astrológico al hombre que de pie dialoga con los astros.”*

*Julio Cortazar (1914–1984),  
fragmento del libro Prosa del Observatorio<sup>1</sup>, París, 1971.*

<sup>1</sup> - En su texto, Cortazar se refiere a la ciudad de Jaipur (India), construida en el siglo XVIII por el maharajá Jai Singh II, del que recibe su nombre (Jaipur: la ciudad de Jai). Entre sus lugares de interés se destaca un observatorio astronómico finalizado en 1716. El propio maharajá diseñó los enormes artefactos de observación que, para la época, eran de gran precisión. Ese observatorio constó de edificaciones y múltiples instrumentos astronómicos: relojes de Sol colosales, gigantescos astrolabios suspendidos entre columnas de gran diámetro, áreas semiesféricas hechas de mármol blanco con la posición de las estrellas cavadas en el suelo, un edificio para cada constelación del Zodíaco con un plano inclinado orientado de tal forma que permite ver la constelación correspondiente en la época adecuada, columnas formando círculos con una escalera para alcanzar su tramo superior, planos inclinados con escaleras, y varias construcciones más.

El cielo es una idea que se observa, un concepto virtuoso que se construye con la mirada. Por ello, tal vez las imágenes que construimos del cielo comprendan objetos y entelequias, regularidad y eternidad. Así, cada individuo da forma al cielo a través de sus deseos, perspicacia y bagaje cultural.

El cielo es un concepto natural tan sólo porque existe en la naturaleza humana: al componer un panorama del mundo montamos el cielo como la mitad de cualquier paisaje observable.

No hay sitios privilegiados donde observar el cielo, cualquier lugar es adecuado. Tampoco hay observadores aventajados, nuestros ojos democratizan la mirada.

Si los paisajes celestes forman parte del mundo natural es porque en ellos hallamos los astros, cuerpos íntegramente reales que en el cielo, como lentos peregrinos, se mueven por caminos que sólo traza la persistencia de nuestra memoria al evocar su visión.

La máxima influencia de los astros en la Tierra, auténtica y verificable, fue haber originado a los astrónomos: mujeres y hombres provistos de algunos artificios para manifestar lo simbólico, dedicados a perpetuar la mirada.

Los astrónomos moldearon el cielo con símbolos y signos, luego crearon pautas y reglas, muchas aún de procedencia incierta. Sería ingenuo pensar que esos elementos surgieron efectivamente de lo real. Aparecieron subordinados al deseo de atrapar los astros e

intentar describir su naturaleza, tal vez como un intento más por entender la propia, la humana.

Así, durante milenios, los astrónomos se encargaron de encapsular el cielo en múltiples modelos geométricos, engarzar los astros en esferas transparentes y asociar diversos impulsos para justificar sus movimientos aparentes.

Paralelamente, dominados por la razón, otorgaron a los astros medidas de toda clase, muchas de las cuales aún perduran, como también perdura, aunque inconmensurable, el cielo. En esa empresa, los astrónomos transformaron el brazo extendido que señalaba una estrella, en una vara graduada de metal que pretendía materializar esa dirección. Los ademanes que daban cuenta de una trayectoria celeste se convirtieron en ángulos subtendidos sobre finos arcos de bronce labrado.

El tiempo pasó del dominio terrestre a ser potestad de los astros y los astrónomos, cual cazadores furtivos, idearon extraños procedimientos para atraparlo en artefactos, como los relojes, de arcana interpretación; luego, acompañaron a los líderes de diversas civilizaciones, mostrándoles que el tiempo era un modo útil de regular la vida cotidiana y se lo entregaron, domesticado, a través de singulares dispositivos llamados calendarios, los cuales llegaron a ser tan importantes que se los utilizó para diferenciar una cultura de otra.

Ya instituida como una disciplina científica, la astronomía colaboró a diafragmar aún más la mirada humana, primero estrechándola

hasta quedar encerrada entre dos finos listones, paralelos y de madera, luego imponiendo orificios de latón, con diferentes diámetros, a través de los cuales debía realizarse la observación de los astros. De esa manera, a medida que la visual se impregnaba de planos y puntos de referencia que la domesticaban para el estudio, paulatinamente se incorporó la geometría, para terminar de formalizar los modelos del cielo provocados por la mirada científica de los nuevos astrónomos.

Los antiguos instrumentos de los primeros astrónomos formaron parte de la vida cotidiana, incluso muchos de ellos, convertidos en monumentos públicos, se ubicaron generalmente en un punto destacado en la plaza central de las principales ciudades de la antigüedad.

Indudablemente, hasta comienzos del siglo XVI, cuando la precisión en las medidas astronómicas había alcanzado su máxima expresión, los ojos regularon la capacidad de los artefactos de observación y el ingenio de sus constructores.

Pero entonces surgió un punto de inflexión tecnológico: el telescopio. Finales de 1609, cuando el telescopio irrumpe como herramienta astronómica de la mano de Galileo Galilei, es la época que signa el envejecimiento repentino a todos los instrumentos anteriores y el origen temporal de una nueva epopeya científica.

En la actualidad, de los dispositivos vinculados con la astronomía previa al telescopio, sobreviven sólo algunos relojes de Sol como exponentes testimoniales o decorativos, que a muy pocas personas evocan aquella época. Hoy, se contempla un reloj de Sol a lo sumo con cierta curiosidad, tratando de leer la hora ante una sombra furtiva y siempre esquiva a nuestra idea moderna del tiempo; incluso se busca y pretende que su precisión coincida con la de los relojes modernos, sin concebir que ese artefacto fue

pensado, atávicamente, como una marca cultural que materializaba el derrotero solar para cierto pueblo.

Exceptuando el reloj de Sol, el resto de los instrumentos está en los museos o en las crónicas de las observaciones previas a nuestra era. Se exhiben o se señalan en los archivos antiguos, tan sólo para reforzar que la mirada quedó atrapada en el artefacto, no en el cielo.

El centro de atracción pasó del cielo a los astros y de los astros a los modelos que dan cuenta de sus propiedades. El cielo, extraviado entre leyes físicas y datos aeroespaciales, parpadea únicamente bajo un sueño místico o mágico, o surge, intempestivo y subjetivado, como un objeto artístico.

No obstante, somos conscientes de que muchos de los instrumentos pretelescopícos aún son útiles para visualizar los fenómenos para los cuales fueron concebidos y, en vista que en la enseñanza y divulgación de la astronomía muchos de sus conceptos básicos presentan serias dificultades de apropiación por individuos de todas las edades, elaboramos el Solar de las Miradas, una instalación que cuenta con una colección de aquellos instrumentos que antecedieron al telescopio, junto a una serie de dispositivos sensibles, de neto corte didáctico.

No sólo buscamos favorecer la enseñanza y propiciar la popularización de la astronomía, sino también recuperar la mirada y, con ella, al menos una parte del cielo perdido.



## 2. la observación de los astros

*Quien no comprende una mirada  
tampoco comprenderá una explicación.*

*[Proverbio árabe]*

La curiosidad y el interés del hombre primitivo por la regularidad de los movimientos de los astros y por las conexiones aparentes de éstos con los cambios percibidos en el ambiente terrestre, se establecieron como acontecimientos significativos e importantes en la vida cultural de las civilizaciones antiguas.

En las concepciones que dieron forma a las creencias, mitologías y prácticas religiosas de diversas culturas, o en experiencias como las que originaron la astrología, se registran distintos vínculos celestes, como por ejemplo, el desplazamiento aparente de los astros y la predestinación de las personas, el éxito de una cosecha o el destino de un reino.

Al respecto, no es necesario advertir aquí cómo el Sol y la Luna, los planetas, los eclipses, el surgimiento y el ocultamiento helíaco<sup>2</sup> de las estrellas brillantes y otros fenómenos astronómicos visibles a simple vista alcanzaron, también, un significado místico en muchos de esos pueblos.

2 - El ocultamiento o la aparición helíaca de un astro, es su ocultamiento o aparición en simultáneo con el Sol.

Además, como hemos señalado, junto con la observación celeste surgió la necesidad de familiarizarse con la marcha del tiempo, para lo cual florecieron múltiples procedimientos que permitieron reconocer, registrar y compartir el ritmo de los fenómenos periódicos observados en el cielo, siempre reiterados y sucesivos, como el ciclo de los días y las noches, las fases lunares y los años, como una colección de climas terrestres y acontecimientos estelares.

De esta manera, la historia misma de la astronomía se interpreta como un fondo cultural, de carácter informativo y documental. En ese bagaje, junto a las antiguas concepciones cosmológicas que, en su evolución, condujeron a la imagen actual del universo, se encuentran también las herramientas que dan cuenta y ejemplifican las ideas que constituyeron sus fundamentos en cada época.

Una de las primeras formas prácticas, cotidianas, que tomó la observación y el estudio de los fenómenos celestes fue la construcción de calendarios, en los cuales algunos fenómenos conseguían pronosticarse sobre la base de cierta experiencia anterior. Los primeros calendarios se fundaron sobre el ciclo de la Luna, el ciclo del Sol, circunstancias climáticas o sobre varios de esos acontecimientos combinados.

Durante la tarea de elaboración de los calendarios primitivos, asomó la necesidad de expresar, de alguna manera, esa regularidad observada en los astros, a través de expresiones simbólicas. El empleo de fórmulas y la aplicación de algunas reglas sencillas, permitió a los primeros astrónomos predecir teóricamente aquellos fenómenos periódicos considerados trascendentes para la vida cotidiana o bien para la práctica ritual de sus cultos.

Lentamente, los calendarios primitivos evolucionaron a medida que los astrónomos repetían y perfeccionaban las observaciones de los fenómenos a los cuales se subordinaban y, simultáneamente, optimizaban la formulación de los modelos que describían y explicaban esos fenómenos.

Durante siglos esas observaciones fueron básicamente cualitativas, a excepción de algunas, muy específicas, cuya cuantificación y precisión quedaban libradas al buen tino y cuidado de quien las hiciese. Pero para formular una teoría astronómica<sup>3</sup>, para construir un modelo explicativo, se impuso como rasgo esencial no sólo una observación cualitativa del cielo, sino otra, cuantitativa, que involucraba, por ejemplo, una medición cuidadosa de la posición de los astros en un instante de tiempo bien definido (básicamente del Sol, la Luna, las estrellas y, más tarde, de los planetas<sup>4</sup>).

En ese contexto, una parte importante de la historia de la astronomía la constituye la descripción de los instrumentos usados en esas observaciones y en esas medidas, de su génesis y de su desarrollo.

Con los medios más primarios de observación<sup>5</sup>, los antiguos astrónomos consiguieron reconocer numerosas regularidades celestes, y realizar múltiples y variadas mediciones, tanto cualitativas como cuantitativas.

Mediante instrumentos simples, ya en el segundo milenio antes de nuestra era, se ubican en Babilonia las primeras estimaciones cuidadosas que permitieron verificar una serie de reglas empíricas sobre el comportamiento de los astros, y predecir varios fenómenos con gran aproximación tanto espacial como temporal.

Por otra parte, el inicio de la aspiración por articular los modelos teóricos con las observaciones celestes se considera que se produjo en la ciudad de Alejandría; un deseo que evidentemente fue sostenido por la mayoría de los astrónomos que vivieron allí, desde Hiparco (siglo II a.C.) a Tolomeo (alrededor de 150). Su espíritu se sostuvo hasta la aparición del telescopio, ya en el siglo XVII.

*3 - Es decir, una serie de modelos, esquemas, que describan, expliquen y permitan predecir los fenómenos.*

*4 - Los planetas, entonces, no tenían la entidad que hoy les conocemos. Apenas se diferenciaban del resto de los astros nocturnos; a lo sumo eran poco más que una estrella descarriada.*

*5 - Como el hilo tenso de una plomada, colocado frente al ojo, el registro de las sombras de una varilla o de un edificio, proyectadas en el suelo.*

## 2.1 La mirada de los astrónomos de Babilonia

Entre el los ríos Tigris y Eufrates, en la baja Mesopotamia, floreció durante milenios antes de nuestra era, una de las más antiguas civilizaciones conocidas. Sus fundadores, los sumerios, construyeron una serie de ciudades en la zona del Eufrates inferior, llamada Caldea, entre las que se destacaron Ur, Nippur y, más tarde, Babilonia.

En Babilonia se consideraba que las mismas causas provocan los mismos efectos: los astros ejercen una influencia clara y manifiesta sobre la naturaleza (por ejemplo, el ciclo de las estaciones) y, por lo tanto, también sobre los seres humanos. Así, la astronomía babilónica, que se caracterizó por su origen astrológico<sup>6</sup>, establece un principio determinista: la existencia de una relación necesaria y constante entre un fenómeno celeste y un hecho humano.

En grandes ciudades como Babilonia, Nínive, Ourouk, Sippar y Borsipa, existían colegios de astrólogos; también hacían reuniones, en las cuales discutían sus opiniones y acordaban criterios para leer los horóscopos. A su vez, para la observación celeste, elevaron torres muy altas junto a los templos; una de ellas, precisamente en Babilonia, alcanzaba 91 metros.

Para la determinación de un horóscopo, a los astrólogos les resultaba indispensable determinar con la mayor precisión posible cuál es el astro que está presente en el instante del nacimiento de una persona. Es decir, en Babilonia no se buscaba una explicación de los movimientos aparentes de los astros, sino una solución práctica que permitiese averiguar automáticamente sus posiciones<sup>7</sup> cuando se deseara; en esa práctica babilónica es donde puede rastrearse el origen de la llamada astronomía de posición.

Los datos que se tienen de esta astronomía señalan que no se basaba ni obedecía a un modelo cosmológico esférico, ni hacía uso de un modelo geométrico específico para los cuerpos celestes que se mueven alrededor de la Tierra, aunque ésta era considerada centro de sus trayectorias. No obstante, sí utilizaba coordenadas celestes, principalmente la latitud y la longitud eclipticales.

*6 - La creencia en un vínculo entre la vida humana y la posición de los astros en el momento de nacimiento de una persona, define lo que se denomina "astrología horoscópica".*

*7 - El listado de tablas con las posiciones de los astros se conocen como efemérides; esas tablas fueron el principio por el cual se elaboraban los horóscopos.*



El recopilador de las leyes en Babilonia fue Hammurabi, a quien se lo ve en este bajorrelieve, de pie ante Shamash, el Sol, sentado en lo alto de una columna de

El objetivo de los antiguos astrónomos de Babilonia no fue diseñar o construir un modelo del movimiento planetario tal que luego se pudieran derivar del mismo otros fenómenos visibles, como la revolución sinódica, los instantes de orto y ocaso, las retrogradaciones y los movimientos estacionarios. Sus intereses no eran tanto por hallar la posición de un astro en cualquier momento, sino su posición cuando se tratase de una cierta aparición o desaparición vinculada, a su vez, con otro acontecimiento (terrestre o celeste).

La regularidad de los ciclos celestes sugirió también un orden necesario para las cosas; por esta razón, en los escritos astrológicos se mezclan profecías y observaciones<sup>8</sup>.

Como además en Babilonia se desarrolló un sistema de cálculo numérico, en las tablillas encontradas pueden verse reflejadas sus creencias mágicas junto con el registro de las posiciones regulares de un astro, dado generalmente a través de indicaciones numéricas.

En algunas tablillas de la época de Sargón I hay menciones a los puntos cardinales; los estudios presentes arqueoastrónómicos señalan que monumentos<sup>9</sup> de más de tres mil años de antigüedad, fueron orientados según los puntos cardinales.

Agruparon las estrellas en constelaciones. En las tablillas más antiguas se indican 17 constelaciones en la “vía de Anou” (la banda del ecuador), 23 en la “ruta de Enlil” (la zona boreal) y 12 en el “camino de Ea” (zona austral), siendo Anou, Enlil y Ea, los dioses del cielo, la tierra y las aguas, respectivamente.

En Caldea se encuentra también el germen de la idea de Zodíaco. En la tablilla de Cambises aparecen 12 constelaciones eclípticas y, para cada una, una división en 3 segmentos de 10° que permitía definir la posición de un astro en longitud eclíptica con un error menor de 5°. Este es uno de los rasgos que permiten inducir el carácter esencialmente eclíptico de la astronomía de estos pueblos, algo que revela un largo pasado de observaciones celestes. Al respecto, en uno de los registros se describe también cómo se fijaban las coordenadas eclípticas de las estrellas, indicando en cuánto se apartaba en longitud y latitud del plano eclíptico (una medida que se registraba en “dedos” y “codos”).

*8 - Se considera que también en Babilonia se originó la denominada “astrología judiciaria”, definida como un conjunto de predicciones a corto plazo que afectan al rey y al reino, basadas en la configuración de los astros en cierto momento.*

*9 - Por ejemplo, las ruinas del templo de Eridou, de los palacios de Lagash, de Ourouk, etc.*

Entre otros estudios astronómicos de esta cultura, destacamos:

- Perfeccionaron la descripción del movimiento del Sol y de la Luna, en base a la cual construyeron calendarios de alta precisión, y tablas de eclipses solares y lunares<sup>10</sup>.
- Hacia el año 400 antes de nuestra era, comprobaron que los movimientos del Sol y la Luna, de Oeste a Este alrededor del Zodíaco, no tienen una velocidad constante. Más adelante, cerca del 300 a.C., Kiddinou, quizás el más célebre de los astrónomos caldeos, aplica el método matemático de las progresiones a todas las desigualdades celestes de las que tuvo conocimiento.
- Podían predecir la fecha en que ocurriría la Luna Nueva y, con la misma, cuándo comenzaría cada nuevo mes. En consecuencia, predecían las posiciones de la Luna y del Sol para todos los días del año<sup>11</sup>. Similarmente, determinaban las posiciones planetarias, tanto en su movimiento directo como en el retrógrado. Una tablilla anterior a la caída de Nínive indica, por medio de una progresión aritmética y otra geométrica, las fracciones iluminadas del disco lunar, de acuerdo a su fase.

Entre sus procedimientos, subsisten hasta el presente:

- La división de la circunferencia, del círculo, y de los cuatro ángulos rectos abarcados por la circunferencia en el centro, en 360 partes o grados (360° en la notación actual).
- La convención de medir el tiempo de acuerdo al sistema sexagesimal.
- La definición de la banda de constelaciones eclípticas, denominada Zodíaco.
- La duración de la lunación o mes sinódico.

*10 - Se atribuye a los babilonios el conocimiento del Saros, un período de 18 años y 11 días, durante el cual tienen lugar unos 70 eclipses, 29 de Luna y 41 de Sol.*

*11 - En las efemérides lunares de Babilonia se indican los desplazamientos mensuales del Sol (y de su longitud eclíptica) y de la Luna en las conjunciones, la duración del día y de la noche, las variaciones de la velocidad de la Luna, la duración del mes sinódico considerando el movimiento variado del Sol y de la Luna, las fechas de conjunciones consecutivas, las variaciones de las distancias Luna-Sol, de la inclinación de la eclíptica sobre el horizonte y de la latitud de la Luna.*

**Ruinas de Babilonia.**

La cronología marca que el imperio babilónico cayó en manos de los persas (539 a.C.) y más tarde fue sometido por Alejandro Magno (327 a.C.). La decadencia fue progresiva y, durante los primeros siglos de nuestra era, de la antigua Babilonia no quedaba sino un conjunto de ruinas.

Entre los principales instrumentos utilizados en Babilonia sobresalen el gnomón<sup>12</sup> y el polos, ambos presentes en el Solar de las Miradas.



## 2.2 La mirada de los astrónomos griegos

Entre los siglos VII y valía V a.C., algunos pensadores de la región de Jonia<sup>13</sup> propagaron la idea de un universo ordenado, matemático. Un universo comprensible, sometido a reglas simples, regido por mecanismos que vale la pena investigar.

En particular, se destaca como una de las primeras miradas racionales de Jonia, la del filósofo Tales, quien vivió en Mileto, una de las principales colonias comerciales de esa región. Algunos historiadores consideran que Tales es el gestor primordial de la astronomía griega. El cronista Herodoto atribuye a Tales haber predicho un eclipse solar (aparentemente en el año 585 a.C.), la introducción del reloj de Sol en Grecia y la construcción de precisos calendarios astronómicos<sup>14</sup>.

<sup>12</sup> - Se conoce que el gnomón también fue usado en Egipto.

<sup>13</sup> - Asia Menor.

<sup>14</sup> - Con indicaciones meteorológicas.

Con Tales, se distingue también uno de sus discípulos, Anaximandro (siglo VI a.C.), quien construyó los primeros mapas de la Tierra que se conocieron en su época. Según la mirada de Anaximandro, nuestro mundo tenía la forma de un cilindro, tres veces más ancho que profundo y únicamente con la parte superior habitada.

En su modelo, esa Tierra cilíndrica está aislada en el espacio mientras que el cielo se despliega como una esfera completa; en el centro de la misma se sostiene, sin soporte alguno, nuestro cilindro. De esta manera, la Tierra se hallaba a igual distancia de todos los puntos del cielo.

Anaximandro usó relojes solares para estudiar, registrar y determinar el movimiento aparente del Sol en el cielo, y luego fijar las fechas de los solsticios y equinoccios.

Su modelo postulaba que los astros forman parte de ruedas tubulares opacas que contienen fuego y en las cuales, en ciertos puntos, un agujero deja ver ese fuego. La rueda de las estrellas, con sus millares de agujeros brillantes tiene un radio interno igual a 9 diámetros terrestres; la rueda de la Luna, 18 diámetros terrestres y, finalmente, la rueda del Sol, 27 diámetros terrestres. Es decir, para Anaximandro las estrellas se hallaban más cerca de la Tierra que la Luna<sup>15</sup>. Esas ruedas están inclinadas con diversos ángulos respecto al eje del cilindro terrestre y giran alrededor del mismo. De esta manera, Anaximandro incluye el círculo, por primera vez, en la astronomía.

Por último, según Anaximandro, el orificio del Sol es igual a la Tierra, y los eclipses y las fases de la Luna resultan de la obturación de sus respectivos agujeros.

Uno de sus discípulos, Anaxímenes, es el último representante del pensamiento originado en Mileto; Anaxímenes continuó y amplió las ideas de Anaximandro y, entre ellas, se destaca la afirmación acerca de que el universo estaría habitado por seres semejantes a los humanos.

Finalmente, el último de los representantes de la escuela jónica fue Heráclito de Efeso (siglos VI–V a.C.) quien introduce la idea de que todo cambia, fluye, que todo lo que existe es variable<sup>16</sup>.

En el siglo VI a.C. florece en Samos un nuevo movimiento filosófico, cuyo fundador es Pitágoras. Su mirada le induce a pensar que la Tierra, indudablemente esférica por razones de belleza geométrica, está fija en el centro de otra esfera, de dimensiones colosales: la esfera celeste. El Sol, la Luna, los cinco planetas conocidos y las mismas estrellas, giraban en torno a la Tierra de oriente a occidente. Como considera que el orden del universo es matemático, enseña que su estructura se puede reducir a números. Parménides fue el primero en publicar esa idea de esfericidad para la Tierra.

La verdadera figura de la Tierra se hizo más clara recién cuando los viajeros contaron los cambios que había sufrido la esfera de las estrellas en curso de sus viajes. Remontando al norte del Ponto Euxino veían nuevas estrellas volverse circumpolares<sup>17</sup> y

*15 - Esto nos dice que en su época, nadie había observado la ocultación de estrellas por la Luna.*

*16 - "No se puede uno bañar dos veces en el mismo río" es una de sus frases más conocidas.*

*17 - Las estrellas circumpolares son estrellas siempre visibles, es decir, que no salen ni se ponen.*

descendiendo hacia el sur, observaban una estrella muy luminosa [Canopus], invisible en Grecia pero que se hacía visible en Rodas y seguía elevándose más y más sobre el horizonte<sup>18</sup>.

Uno de los principales discípulos de Pitágoras fue Filolao (siglo V a.C.). Es el primero que le asigna cierto movimiento a la Tierra, es decir, deja de ser un cuerpo estático en el espacio. Propuso que la sucesión de los días y las noches se producían por la rotación de la Tierra alrededor de un centro cósmico. En esa posición central había fuego pero era invisible porque lo ocultaba un astro opaco llamado Antitierra. Alrededor de ese fuego giran tres esferas concéntricas. La más externa era la de las estrellas y también la sede del Olimpo, la morada de los dioses. Luego, más interna, había una esfera conteniendo a los planetas y la Luna. Por último, la esfera más cercana al fuego central contenía a la Tierra y a la Antitierra. Sus principales aportes fueron, entonces:

- a - atribuir una forma esférica no sólo a la Tierra, sino a todos los astros,
- b - identificar a la Tierra como un cuerpo de segunda categoría, y
- c - señalar que la Tierra no está quieta ni en el centro del universo.

En el mismo siglo que Filolao, surge la figura de Empédocles, en Acragas<sup>19</sup>, quien introduce la idea de los cuatro elementos (fuego, agua, tierra y aire) y de dos únicas fuerzas que operan en todas las transformaciones de la naturaleza (cósmica y terrestre): atracción y repulsión.

Por su parte, Demócrito (460-370 a.C.) quien presenta una imagen en la que el mundo está compuesto exclusivamente de átomos en movimiento en un espacio vacío, aporta la idea de que la Vía Láctea consistía en numerosas estrellas.

Finalmente, vale mencionar la aguda mirada de Anaxágoras (hacia el 450 a.C.), desarrollada en Atenas. Fue el primero en señalar que la Luna brilla con luz “prestada” (reflejada). No obstante, su modelo para explicar las fases lunares señalaba que éstas se producían a causa de cierta inclinación de su disco sobre la línea de la visión<sup>20</sup>.

Consideró que la Luna tenía montañas y estimó, aunque erróneamente, cierto tamaño del Sol<sup>21</sup>. Estudió un meteorito y concluyó que el Sol y las estrellas eran cuerpos sólidos, similares a piedras ardientes, lanzados al espacio como proyectiles.

*18 - Un siglo más tarde la esfericidad de la Tierra podía apoyarse sobre varios argumentos exactos, enumerados por Aristóteles (aparición de los mástiles de los navíos lejanos antes que su quilla, la sombra de la Tierra como un círculo sobre la Luna durante los eclipses lunares, por ejemplo). No obstante, durante mucho tiempo subsistieron demostraciones inconsistentes de la redondez de la Tierra en los argumentos de la ciencia griega. En el mismo Almagesto, la obra astronómica cumbre de esta civilización, se habla de este tema por el sofisma de la enumeración incompleta: la Tierra no puede ser plana, ni ahuecada, ni poliédrica, ni cilíndrica: luego, es esférica.*

*19 - Hoy Agrigento, en Sicilia (Italia).*

*20 - Este mecanismo sugerido por Anaxágoras no puede dar cuenta de la fase creciente.*

*21 - Anaxágoras consideró que el Sol era tan grande como la región del Peloponeso.*



Anaxágoras desarrolló un modelo exacto que explicaba la ocurrencia de los eclipses de Luna, por inmersión de ésta en la sombra arrastrada por la Tierra; esta explicación constituye la primera teoría de un fenómeno astronómico por una relación entre los astros. No obstante, Anaxágoras tenía una segunda hipótesis para los eclipses: interposición de astros negros, como nubes, en trayectos regulares.

Posteriormente, la astronomía griega experimentó un giro decisivo con los aportes de Platón (siglo IV) y su contemporáneo, Eudoxo de Cnido. Para entonces, se habían consolidado importantes ideas como por ejemplo: a) un cuerpo sólido, similar a la Tierra, se torna invisible cuando no es iluminado, b) la noche es una sombra cuando el Sol ilumina el otro lado de la Tierra, c) las tinieblas no son una sustancia opaca sino la ausencia de luz<sup>22</sup>.

Las ideas cosmológicas y astronómicas de Platón se hallan fundamentalmente en su libro Timeo donde se hallan numerosas formulaciones tomadas de otros filósofos, en particular de los seguidores de Pitágoras y de Empédocles.

Para Platón, sería la estructura matemática de los cuerpos la que explicaría las cualidades, estados y posibles transformaciones de la materia. Su mirada fijó, además, las bases conceptuales sobre las que se debía asentar cualquier estudio astronómico:

- a - la Tierra es un cuerpo esférico,
- b - la Tierra está inmóvil en el centro del universo,
- c - los movimientos de los astros son circulares y uniformes<sup>23</sup>,
- d - las leyes o causas que rigen los fenómenos celestes no son las mismas que las que rigen los fenómenos terrestres.

Para representar el universo Platón y Eudoxo construyeron un modelo geométrico que concibe al cielo y a la Tierra como dos esferas concéntricas.

Las estrellas son cuerpos fijos a la esfera celeste. El Sol, la Luna y los planetas, en cambio, se mueven por la superficie de esa esfera celeste, en trayectorias circulares, con velocidad constante.

En el centro de la esfera celeste, está la esfera terrestre, fija. La esfera celeste se mueve durante la noche de oriente a occidente, completando un giro en 24 horas.

*22 - Durante siglos se creyó que las tinieblas, como la luz, tenían realidad material. La luz era un vapor claro y las tinieblas un vapor negro que subía de la Tierra por la tarde.*

*23 - No es posible que exista otro tipo de movimiento o cambio.*

Además, Eudoxo consigue desarrollar una explicación que daba cuenta al movimiento anual irregular de los planetas<sup>24</sup>, es decir, un movimiento observado de “paradas” y “retrocesos”. Para ello, este pensador construyó el primer modelo geométrico de los movimientos planetarios mediante esferas; vale resaltar que las esferas de Eudoxo no fueron concebidas como objetos físicos, sino como modelos netamente matemáticos. Asignó a cada planeta un conjunto de cuatro esferas concéntricas, una dentro de la otra, cuyo centro común es la esfera terrestre. Para la Luna y el Sol estableció tres esferas a cada uno. Finalmente, reservó una esfera para las estrellas “fijas”. De ese modo, describió el universo como formado por 27 esferas independientes, todas concéntricas.

Con este modelo, Eudoxo podía explicar varios de los fenómenos celestes conocidos en su época, ya que permitía apreciar cierto acuerdo cualitativo entre la teoría y las observaciones.

En la misma época, este sistema de esferas es corregido por su sucesor Calipo, quien tomó en cuenta la variación en la velocidad del Sol y la Luna en su movimiento eclíptico. En particular, consideró la diferencia, en varios días, que muestra el Sol al pasar del solsticio de verano al equinoccio de otoño y de éste al solsticio de invierno, esto es, la duración diferente de las estaciones. Así, Calipo añadió una esfera más para el Sol y para la Luna, que entonces sumaron cuatro. Finalmente, luego incorporó una quinta esfera para Mercurio, Venus y Marte.

Algo más tarde, Aristóteles (384-322 a.C.) desarrolló un modelo como el de Calipo, pero con una diferencia muy importante: el sistema era físicamente real, las esferas eran objetos concretos, no simples construcciones geométricas. Esta concepción del universo llevaba a pensar que el movimiento debía transmitirse de unas esferas a las otras, para lo que Aristóteles concibió un nuevo conjunto de esferas, neutralizadoras del movimiento, con

lo que estableció una auténtica máquina celeste de 55 esferas planetarias, más la esfera de las estrellas fijas. Esta última esfera correspondía a la frontera del universo y, como todas las demás, giraba alrededor de la Tierra.

Por otra parte, se sabe que en Ponto, un contemporáneo de Aristóteles llamado Heráclides enseñaba que la Tierra, ubicada en el centro del universo, giraba alrededor de su eje en 24 horas.

Uno de los últimos pensadores jónicos fue Aristarco de Samos (310-230 a.C.), cuya mirada lo destaca como el primero en postular que el Sol está fijo en el centro del universo, mientras la Tierra gira sobre su eje y alrededor del Sol<sup>25</sup>. Aristarco ideó un método para calcular la distancia entre la Tierra y el Sol; si bien su idea es correcta, la medición es irrealizable en la práctica con la precisión necesaria<sup>26</sup>.

Por último, en la época de Aristarco el centro de la erudición se había desplazado a la biblioteca de Alejandría, de la cual nos ocupamos más adelante.

*24 - Ese movimiento irregular, algunas veces considerado hasta “errático”, fue el que originó el nombre de esos astros (planeta significa algo así como astro vagabundo, errante). Este movimiento, también llamado “retrógrado”, no es compartido por el Sol ni por la Luna.*

*25 - Con este modelo heliocéntrico, Aristarco se adelantó a Nicolás Copérnico en 18 siglos.*

*26 - Aristarco calculó que la distancia de la Tierra al Sol es de unas 20 veces el radio de la órbita lunar, cuando el valor correcto es casi 400.*

# 3. la precisión en la medida

*Una máquina puede hacer el trabajo de 50 hombres corrientes. Pero no existe ninguna máquina que pueda hacer el trabajo de un hombre extraordinario.*

*Elbert Hubbard (1856-1915)*

Fisiológicamente, el ojo humano no distingue objetos que, en el cielo, estén separados un ángulo menor de un minuto de arco ( $1'$ ). Ese valor puede ser considerado como el límite máximo de la precisión alcanzada por la astronomía a ojo desnudo. Prácticamente, significa identificar con exactitud una única estrella individual.

Por otra parte, el Sol y la Luna se perciben como cuerpos extensos<sup>27</sup>, es decir, con dimensiones aparentes mayores que el resto visible (básicamente estrellas y planetas).

En la tarea de observación de los astros, si la magnitud del error cometido<sup>28</sup> resultaba comparable a la dimensión percibida del Sol o la Luna, ese error no se toleraba y la observación correspondiente se despreciaba; ni siquiera se tomaba en cuenta como una aproximación. Esta particularidad impuso naturalmente un límite mínimo de precisión aceptable, correspondiente al diámetro angular visible del disco solar o lunar, esto es, aproximadamente medio grado sexagesimal, es decir, treinta minutos de arco ( $30'$ ).

Todas las observaciones astronómicas hechas desde la época babilónica hasta las medidas del astrónomo dinamarqués Tycho Brahe, en el siglo XVI, estuvieron comprendidas dentro de esos límites de precisión máxima y mínima.

Es posible estimar que desde la época alejandrina hasta finales del Medioevo, la precisión conseguida fue cerca de 5 minutos de arco ( $5'$ ) para las mejores medidas angulares, 20 segundos de

<sup>27</sup> - A diferencia de las estrellas, que son astros puntuales, sin área aparente.

<sup>28</sup> - Luego sería también un error de predicción.

tiempo (20 seg) para la estimación de la duración del día (esto es, de la rotación de la Tierra) y de dos grados y medio ( $2,5^\circ$ ) para la longitud geográfica<sup>29</sup>, cuando ésta se determinaba mediante la observación de un eclipse u otros escenarios referidos a la posición de la Luna.

	Mediocre	Buena	Óptima
Precisión angular, en minutos de arco	30'	5'	1'
Radio de un círculo, en centímetros, sobre el cual la precisión angular corresponde a un error de 1 milímetro de escala.	12 cm	72 cm	360 cm
Tiempo comprometido en una rotación aparente del cielo a través de un ángulo correspondiente a esa precisión angular. En minutos de tiempo	2 min	20 seg	4 seg
Precisión de una determinación de longitud terrestre usando medidas de la posición de la Luna hechas con este orden de error <sup>30</sup> . En grados y minutos.	15 °	2 ° 30'	30'

La historia de la ciencia permite dar cuenta que, al elaborar un modelo teórico o bien a medida que se completaba o enriquecía, surgía también la necesidad de observaciones y mediciones cada vez de mayor precisión.

Al efecto, obtener cierta precisión con técnicas sencillas (el hilo de la plomada, la sombra de una varilla, por ejemplo) comenzó a mostrar que resultaban insuficientes o directamente inadecuadas. Ante esa situación se inventaron instrumentos específicamente diseñados para obtener una medida del tiempo<sup>31</sup> confiable y también para la determinación de posiciones, tamaños y distancias angulares; de esta forma, se alcanzaba a dominar las dos variables fundamentales de la astronomía clásica<sup>32</sup>: la espacial y la temporal.

Los astrónomos ponían a prueba los modelos teóricos con los resultados obtenidos mediante nuevos e ingeniosos aparatos, lo que reiteraba y aumentaba la necesidad de un consecuente aumento de precisión y, por lo tanto, de instrumentos que permitieran esa mayor exactitud en las medidas.

<sup>29</sup> - La longitud, como la latitud, son ángulos que permiten ubicar un punto sobre la esfera terrestre. La longitud es la distancia angular, medida sobre el ecuador, desde un meridiano de referencia hasta el meridiano que pasa por el lugar cuyas coordenadas se busca determinar.

<sup>30</sup> - Esto se deriva del hecho que la Luna rota cumpliendo una vuelta en cerca de 28 rotaciones diurna del cielo. El error de una determinación de latitud terrestre es el mismo de la precisión angular.

<sup>31</sup> - Es decir, la duración del día y de la noche, del período de fases lunares o del año.

<sup>32</sup> - También llamada astronomía de posición o astrometría.

También se diversificó el tipo de instrumentos, ya que imperaba la necesidad de que resultasen útiles para estimar diferentes rasgos de los fenómenos, surgidos del propio modelo que los describía<sup>33</sup>. En términos de precisión, esa necesidad acarreó nuevos desafíos a los constructores de artefactos de observación astronómica.

Por ejemplo, un ángulo de 5 minutos de arco (5') es rápidamente discernible en la práctica observacional<sup>34</sup>, pero para uso terrestre un ángulo de esa amplitud subtiende una longitud de 1 milímetro sobre un círculo graduado de 1 metro de diámetro. Por lo tanto, un instrumento que asegure una precisión de 5', necesariamente debe ser muy grande, con las divisiones de su escala hechas con mucho cuidado, además de estar emplazado correctamente y su estructura ser muy estable.

La historia de estos instrumentos es la de una sucesión de personas que se dedicaron a conseguir ese fin, destacando al ya mencionado Brahe como el máximo y último exponente de la era pretelescópica de la astronomía.

*33 - Por ejemplo, la determinación de nuevas coordenadas celestes, referidas a planos de referencia diferentes a los terrestres.*

*34 - Esto es, un sexto del diámetro aparente del Sol.*

# 4. constructores de instrumentos

*El genio comienza las grandes obras,  
pero sólo el trabajo las acaba.*

*Joseph Joubert (1754-1824)*

A continuación hacemos una breve síntesis de los principales instrumentos antiguos que se refieren a la medida del tiempo y la determinación de direcciones celestes.

a - La medición de intervalos de tiempo

Para identificar un instante durante el día se utilizaba un gnomón, esto es, una simple varilla vertical, clavada en la tierra, cuya sombra gira con el movimiento aparente del Sol; se trata de una versión primitiva de los cuadrantes o relojes solares.

Los caldeos dispusieron además del polos. Este instrumento consiste en una semiesfera excavada en el suelo o en un bloque de piedra; una esferita, sostenida por una varilla o suspendida por una cadena, está fija en el centro de la esfera mayor. La sombra de la esferita sobre las paredes de la semiesfera es la imagen del Sol sobre la bóveda celeste. Esta sombra gira uniformemente y permite graduar el instrumento de modo que sirva en cualquier estación (una cualidad que no posee el gnomón).

Para medir intervalos cortos de tiempo se usaban el reloj de arena (llamado clepsamia) y el reloj de agua (clepsidra). La cantidad de agua que mana en una clepsidra es proporcional al intervalo de tiempo, si éste es suficientemente breve. La clepsidra podía proporcionar la hora durante la noche, pero tenía necesidad de ser regulada. Se la regulaba por medio de los instantes de salida y puesta de algunas de las estrellas principales.

En el Solar de las Miradas se cuenta con un gnomón, un polos y algunos relojes solares.

#### b - La determinación de direcciones

Para fijar la visual a un astro puntual (una estrella, por ejemplo) se utilizaba una regla, la que materializaba el rayo luminoso; en general se la llamaba alidada.

Luego, dos alidades articuladas por un extremo formaron el compás, que materializa el ángulo entre dos direcciones. A ese compás se le agregará luego un círculo graduado, que dará la medida del ángulo.

La precisión de un alidada aumenta por el empleo de pínulas, que son pantallas perforadas por un agujero en los extremos de la alidada.

Aunque los tubos para mirar surgieron en la temprana Edad Media, se conoce que los egipcios miraban los cuerpos celestes a través de cañas.

Entre los instrumentos antiguos estéticamente más bellos se encuentran las esferas armilares. Se trata de una esfera, por lo general grande y pesada, de 2m o 3m de diámetro, que se orienta en el momento de observar, por comparación directa con el cielo. Estos instrumentos llevaban alidades móviles como radios y círculos graduados para poder estimar las posiciones celestes.

Las esferas armilares parecen haber existido antiguamente en China y, se cree, fueron reinventadas en Alejandría hacia el segundo siglo antes de nuestra era.

Por último, los antiguos observadores astronómicos contaban con un pequeño arsenal mecánico para construir sus instrumentos: espejos de metal pulido, tornillos, palancas, cabriadas, arneses y poleas.

En el Solar de las Miradas se muestran tubos para mirar, esferas armilares y hay ejemplos de diversas alidades y pínulas en otros dispositivos.

La astronomía práctica de las culturas antiguas se construyó en base a relativamente pocas observaciones. Por ejemplo, se han hallado registros vinculados a la variación de la apariencia del cielo en diferentes épocas del año<sup>36</sup> y a los eclipses; otros, se trata de observaciones movilizadas por necesidades, intereses, supersticiones y temores de los mismos astrónomos, quienes en muchos casos, también eran sacerdotes.

Con esas observaciones se construyeron algunos modelos que permitieron diseñar y utilizar diferentes medidas de tiempo (siempre demandantes de ajustes) y también algunas conjeturas sobre el origen y estructura del universo.

Por último, se considera que fue en Alejandría donde se constituyó una de las primeras escuelas de construcción de instrumentos para la observación del cielo.

*36 - Generalmente asociados a las estaciones.*

## 4.1 Notas sobre la biblioteca de Alejandría y la mirada de sus principales astrónomos

La ciudad de Alejandría fue fundada por Alejandro Magno (356-323 a.C.). En su trazado se incluyeron calles con hasta 30 metros de ancho y casas y monumentos de una arquitectura exquisita; diferentes relatos históricos describen que estaba adornada con múltiples estatuas. El puerto de Alejandría contó además con un enorme faro, luego considerado una de las siete maravillas del mundo antiguo.

Entre sus principales edificios se destacaron la biblioteca y el museo, un complejo juzgado a posteriori como la primera institución de investigación de la historia. La biblioteca fue construida y sostenida por los reyes griegos Tolomeos, quienes heredaron la porción egipcia del imperio de Alejandro Magno.

En la biblioteca hubo una comunidad de pensadores que estudiaron física, literatura, medicina, ingeniería, biología y astronomía; en sus anaqueles se reunió por primera vez, en forma sistemática, el conocimiento del mundo. Se estima que alcanzó a tener cerca de 700.000 textos manuscritos, los que equivalen a unos 100.000 libros impresos en el presente. En el puerto de Alejandría se hacía revisar cada barco que llegaba y, cuando se encontraba un libro, se lo llevaba a la biblioteca para hacerlo copiar; la copia, luego, se devolvía al dueño.

Además, los diferentes reyes Tolomeo financiaron auténticas investigaciones científicas, generando nuevos conocimientos a los que guardaban los textos de la biblioteca.

Fue en Alejandría donde surgió un método sistemático de observación del cielo, planeado para ser concretado mediante artefactos adecuados (por ejemplo, para hacer medidas angulares) y, por último, un análisis de los resultados basado en técnicas geométricas y trigonométricas. La astronomía adquirió en Alejandría un nuevo formato que, en lo siglos posteriores, no hizo más que perfeccionarse.



Hacia el año 300 a.C. los primeros astrónomos alejandrinos cuyos registros se conocen: fueron Timocaris (en 290 a.C.) y su pupilo Aristilo (en 260 a.C.), quienes determinaron la posición de las estrellas del Zodíaco y construyeron el primer catálogo estelar.

Luego, Arquímedes de Siracusa (287-212 a.C.) construyó en Alejandría un planetario que mostraba los movimientos de los astros y reproducía los eclipses; también desarrolló un cuadrante para determinar posiciones en la esfera celeste y un artefacto para determinar la distancia angular entre el Sol y la Tierra.

Más tarde, uno de los bibliotecarios de Alejandría, Eratóstenes de Cyrene (275–194 a.C.) midió el radio del planeta y también la oblicuidad de la eclíptica.

Eratóstenes notó que en el día del solsticio las sombras caían verticalmente en la ciudad de Siena, mientras que en Alejandría (algo más al norte), formaban un ángulo con la vertical del lugar, que nunca llegaba a ser nulo. Midiendo el ángulo mínimo y la distancia entre Siena y Alejandría, Eratóstenes encontró que la Tierra tenía una circunferencia de 39.690 kilómetros, apenas 400 kilómetros menos que el valor correcto.

Poco después aparece en escena Hiparco de Nicea (190–120 a.C.), quien fue uno de los grandes observadores que vivieron en Alejandría y considerado el más importante de la antigüedad.

Hiparco construyó un catálogo de estrellas que contenía sus posiciones celestes y brillos relativos<sup>37</sup>, cuya precisión sólo fue superada en el siglo XVI. Elaboró las primeras tablas con datos sobre el movimiento solar y halló el movimiento retrógrado en longitud de los equinoccios (que hoy sabemos se debe al movimiento de precesión de la Tierra) entre otras contribuciones trascendentales para la astronomía.

Hiparco es también considerado el creador de la trigonometría esférica, cuyo objeto es relacionar las medidas angulares con las lineales, y cuyo uso es muy frecuente en astronomía. Ideó además un método para encontrar las distancias Tierra-Luna y Tierra-Sol<sup>38</sup>.

Mediante observaciones y cálculos matemáticos, Hiparco trató de explicar el movimiento aparente del Sol, la Luna y los planetas. Tiempo antes, Apolonio de Perga (262-190 a.C.) había inventado el sistema llamado “epiciclo”, que consiste en una circunferencia cuyo centro se

*37 - La escala de brillos estelares aparentes que construyó Hiparco conformó la base de la actual clasificación fotométrica de las estrellas.*

*38 - El método de Hiparco arroja un valor casi exacto para la medida de la distancia Tierra-Luna, pero es insuficiente su precisión para estimar la distancia Tierra-Sol.*

mueve a lo largo de otra circunferencia, más grande, llamada deferente. Con epiciclos y deferentes, Apolonio trató de modelar el movimiento irregular anual de los planetas<sup>39</sup>. Hiparco agregó al modelo de Apolonio otro elemento, llamado círculo excéntrico, con los que logró analizar los movimientos aparentes del Sol y la Luna en términos de movimientos circulares y uniformes, pero no así el de los planetas<sup>40</sup>.

Hiparco tuvo acceso a los registros observacionales babilónicos, incluyendo datos sobre los movimientos planetarios y los eclipses lunares. A través del contacto con la astronomía de Babilonia, Hiparco valoró el objetivo de la predicción cuantitativa exacta. Con ese fin, fue el primero en desarrollar métodos para asignar valores numéricos a los modelos geométricos. A través de su influencia, se introdujo en la exigencia de adecuación cuantitativa entre la teoría y la observación en la astronomía griega, transformándola radicalmente. Para dar una idea de la exactitud de sus medidas, Hiparco calculó el mes lunar medio en 29 días, 12 horas y 44 minutos con 2,5 segundos, apenas 1 segundo de error respecto al valor actual.

Por último, Sinesio (siglo IV) atribuye a Hiparco la invención del astrolabio; sin embargo, su introducción en Europa no sucede hasta el siglo X, a través de los árabes. El astrolabio es un instrumento que permite determinar las posiciones de las estrellas sobre la esfera celeste; la palabra astrolabio viene del griego antiguo y significa “el que busca estrellas”.

La última mirada astronómica en Alejandría correspondió a una mujer llamada Hipatia (370-415 a.C.)<sup>41</sup>. Se la considera la primera científica y filósofa de occidente. Bibliotecaria y miembro del museo, Hipatia dio lecciones de matemática, filosofía, mecánica y astronomía. En las cartas a su discípulo Silesio incluyó diseños para varios instrumentos científicos, incluyendo un astrolabio plano<sup>42</sup>.

Cirilo, el arzobispo de Alejandría, la despreciaba por su estrecha amistad con el gobernador romano y porque Hipatia representaba un símbolo de cultura y de ciencia, que la primitiva iglesia cristiana identificaba en gran parte con el paganismo. Así fue que en el año 415 fue asaltada y asesinada por un grupo de fanáticos religiosos, en nombre de Cirilo. Sus restos fueron quemados, sus obras destruidas y su nombre, olvidado. Los restos de la biblioteca de Alejandría fueron destruidos poco después de la muerte de Hipatia.

*39 - El principal objeto de estudio de Apolonio fue, sin embargo, las secciones cónicas; por ello que fue conocido también como “gran geómetra”; fue Apolonio quien introdujo las denominaciones de elipse, parábola e hipérbola a esas figuras.*

*40 - Esto lo lograría Tolomeo, tres siglos más tarde, usando el mismo modelo de Hiparco.*

*41 - Hipatia era hija de Teón (335-405) matemático y astrónomo de Alejandría.*

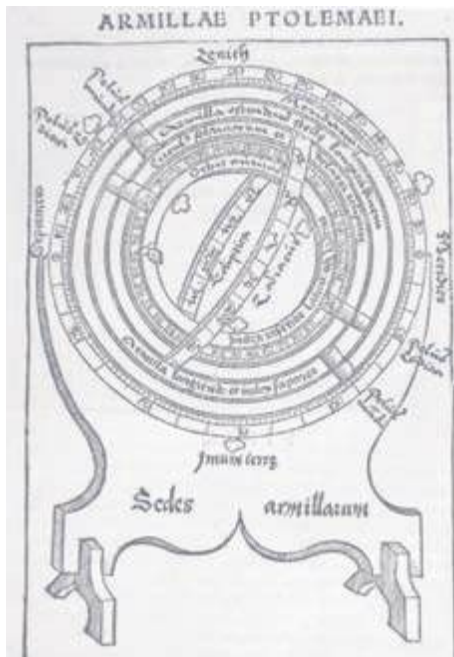
*42 - Otras fuentes señalan que ese instrumento había sido inventado al menos un siglo antes.*

## 4.2 La mirada de Tolomeo

A Hiparco le sucedieron otros astrónomos como Posidonio (en 100 a.C.), Geminus de Rodas (en 77 a.C.), Sosígenes (en 45 a.C.)<sup>43</sup>, Agripa (en 92), Menéalo (en 98) y Teón de Esmirna (70–135) hasta la aparición de Claudio Tolomeo (85–165) quien, además de sus estudios, es reconocido por haber escrito uno de los tratados más importantes de la astronomía antigua, hoy conocido como *Almagesto*. En este texto, Tolomeo procesó la información astronómica, tanto griega como babilónica, de varios siglos, contenida en los textos del museo y la biblioteca de Alejandría. Esto le permitió alcanzar conclusiones teóricas de gran precisión.

Los modelos de Tolomeo tienen los mismos objetivos que los de Eudoxo, es decir, descubrir alguna combinación de movimientos circulares uniformes que explicasen las posiciones observadas de los planetas. Para ello, Tolomeo combinó sus teorías celestes con observaciones trasladadas a planos; es decir, sustituyó las esferas de Eudoxo por un sistema de círculos.

Para desarrollar su modelo, Tolomeo usó tres construcciones básicas, a saber: la excéntrica, la epicíclica y una ecuatorial. Esas construcciones sirvieron para explicar las irregularidades observadas en los cielos, pero además alcanzaron su máxima potencia al combinarse definiendo un círculo deferente que fuese excéntrico respecto a la Tierra.



Armilla de Tolomeo.

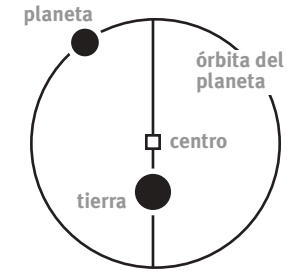
<sup>43</sup> - Sosígenes fue llamado por Julio César a Roma para que colaborara en la reforma del calendario.

## 4.3 Los excéntricos de Tolomeo

Esta concepción ubica a la Tierra ligeramente desplazada del centro de la trayectoria de los planetas.

Como se consideraba mínimo el corrimiento de la Tierra del centro de giro de los planetas, no se lo asumió como una transgresión a los principios aristotélicos<sup>44</sup>, sino más bien un ajuste a la regla.

Con este modelo se logró explicar casos simples de movimientos no uniformes, como el del Sol en la eclíptica y la desigualdad que resulta en la duración de las estaciones.

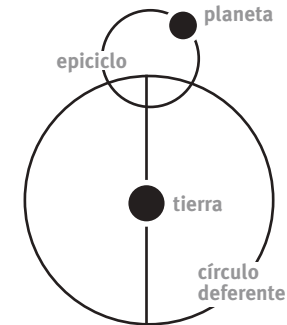


## 4.4 Los epiciclos de Tolomeo

Los planetas se mueven en circunferencias llamadas epiciclos, cuyo centro se desplaza por una circunferencia mayor, denominada deferente.

La velocidad del planeta sobre su epiciclo es constante y también lo es la velocidad del epiciclo sobre el deferente.

Cuando el planeta se halla en la porción de su epiciclo externa al deferente, para un observador en la Tierra su movimiento aparente se compondrá como la suma de su movimiento sobre el epiciclo y el movimiento del epiciclo sobre el deferente. Ubicado allí, entonces, el planeta adquiere su máxima velocidad.



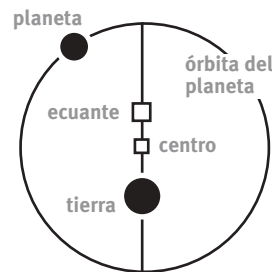
*44 - La Tierra debía ser el centro del universo y de todos los movimientos planetarios.*

45 - En términos heliocéntricos, ese movimiento irregular se explica por la suma del movimiento anual de la Tierra y el de los planetas.

Cuando el planeta, en cambio, se mueve por la porción interna al deferente, su movimiento sobre el epiciclo y el movimiento del epiciclo sobre el deferente son opuestos; en este caso el movimiento aparente del planeta queda determinado por la diferencia entre ambos. En estos casos, si el movimiento del planeta fuera el mayor de los dos, el planeta parecería retroceder sobre sus pasos y experimentar un período de movimiento retrógrado. De este modo, con este modelo geométrico, se conseguía explicar el movimiento irregular anual de los planetas o movimiento retrógrado anual<sup>45</sup>.

Por último, para que este modelo coincida con la observación, tan sólo es preciso escoger las dimensiones relativas del epiciclo y del deferente y, cuando sea necesario, las velocidades relativas de giro en ambos círculos.

## 4.5 Los ecuantos de Tolomeo



Como los epiciclos y los excéntricos no alcanzaban para dar una explicación satisfactoria para ciertos movimientos planetarios, Tolomeo ideó otro modelo.

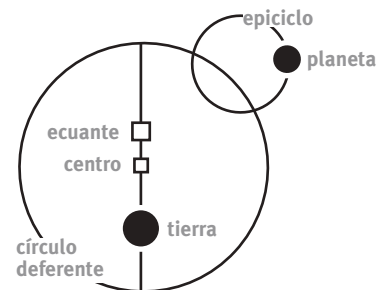
En este caso, el planeta se movía de tal modo que barriera ángulos iguales en tiempos iguales, medidos desde un sitio particular llamado punto de igualdad o “ecuate”. Ese sitio se fija a igual distancia que la Tierra, del centro de la trayectoria del planeta.

Observando el movimiento aparente del planeta desde la Tierra, se acrecienta la variación en la velocidad del astro. De esta manera, Tolomeo sostiene la uniformidad del movimiento angular (aunque no alrededor del centro) y abandona definitivamente la uniformidad del movimiento lineal sobre la circunferencia.

## 4.6 El modelo completo

Los epiciclos, ecuantes y excéntricas de Tolomeo sirvieron para dar cuenta las irregularidades observadas en el movimiento de los astros y alcanzaron su máxima potencia explicativa al combinarse en un modelo que mostraba un deferente excéntrico respecto de la Tierra.

Este modelo, particularmente útil para los planetas Venus, Marte, Júpiter y Saturno, muestra al planeta moviéndose uniformemente sobre el epiciclo, cuyo centro se mueve también uniformemente alrededor de su correspondiente punto ecuante. El resultado, que ajustaba muy bien con los cambios aparentes de velocidad de los planetas en sus órbitas, se refiere siempre a un observador ubicado en la Tierra.



## 4.7 El Almagesto

Mediante observaciones propias, utilizando los trabajos anteriores de Hiparco y cumpliendo los postulados de Aristóteles, Tolomeo recopiló todo el saber astronómico de su época en una obra de trece tomos llamada “Mathematike Sintaxis”, más conocida como “Megale Sintaxis”. La primera traducción al árabe fue en el siglo IX por Al-Mamún. Los árabes le dieron el nombre Al-Majisti que significa el más grande y de allí su nombre actual, Almagesto.

Tolomeo describe también varios instrumentos y, en particular, desarrolla un astrolabio denominado astrolabon organon, muy parecido a una esfera armilar. Describe también

48 constelaciones y crea un sistema geocéntrico para explicar los movimientos aparentes mediante círculos y epiciclos. Incluye un catálogo estelar con las posiciones y brillos de 1002 estrellas.

Breve descripción del Almagesto:

- 1ª - Expone el sistema geocéntrico;
- 2ª - Sobre la periodicidad de los equinoccios y la duración del año;
- 3ª - Características de solsticios y equinoccios;
- 4ª - Sobre el período sinódico y algunos estudios sobre la Luna;
- 5ª - Sobre la corrección de paralaje a las posiciones de la Luna y el Sol;
- 6ª - Sobre su medición del diámetro aparente solar y lunar. Presenta, además, un método para predecir eclipses;
- 7ª y 8ª - Sobre la constancia de las distancias relativas de las estrellas fijas. Presentación de un catálogo de estrellas del hemisferio celeste sur;
- 9ª a 13ª - Sobre su modelo de epiciclos para calcular posiciones y trayectorias de los planetas.



Grabado de Tolomeo.

# 5. la mirada árabe

La cultura griega siguió floreciendo mientras Grecia fue parte del Imperio Romano. Pero en el siglo IV de nuestra era, ese imperio se desmoronó bajo las invasiones germánicas y asiáticas. Por esa misma época, Roma adoptó el cristianismo y los cristianos, que habían sido perseguidos cruelmente por los romanos paganos, repudiaron todo lo que tuviera que ver con la cultura de los antiguos opresores. Toda la filosofía pagana, es decir, la grecorromana, fue liquidada y sustituida por una nueva visión del mundo, basada íntegramente en la religión cristiana. El mundo comenzó a estudiarse a través de la Biblia, interpretada literalmente. Así, la Tierra volvió a ser plana y los epiciclos fueron sustituidos por ángeles que movían a los planetas según los designios inescrutables del Creador.

Así, luego de Tolomeo, comenzaron a declinar los progresos de la astronomía alejandrina; los sucesores se limitaron a comentar sus aportes sin agregar mucho a sus modelos. Más tarde, cuando el saber astronómico griego fue transmitido al Imperio Bizantino<sup>46</sup>, en él se obtuvo únicamente fragmentos del conocimiento de aquellos instrumentos alejandrinos y tan sólo una parte de los modelos teóricos<sup>47</sup>.

Afortunadamente, los árabes de aquella época apreciaban la cultura griega: conservaron y tradujeron los escritos de los filósofos griegos mientras en Europa los quemaban.

Ahora bien, cuando la cultura griega se reveló a los pueblos árabes, la astronomía, más que ninguna otra expresión de la misma, estimuló a muchos estudiosos para desarrollar una gran actividad para su perfeccionamiento y profundización.

Pero entonces, habían transcurrido más de seis siglos de la época en que Tolomeo escribió el Almagesto y desde entonces los pequeños movimientos seculares de los astros se habían acumulado lo suficiente para ser perceptibles. Probablemente, la necesidad de optimizar los modelos astronómicos griegos y la oportunidad de hacerlos más fieles<sup>48</sup> constituyeron un incentivo atrayente para el trabajo de aquellos pueblos.

*46 - En la época medieval, el Bizantino fue un imperio cristiano de cultura griega.*

*47 - Una excepción la constituye la afortunada conservación de dos textos sobre el astrolabio y un ejemplar único de ese instrumento.*

*48 - Por ejemplo, teniendo en cuenta los términos seculares acumulados.*



La labor astronómica de los árabes es imponente en lo que se refiere a la acumulación y ordenación de observaciones, y a la invención u optimización de artefactos para observar y medir las posiciones y los movimientos de los astros. Estos instrumentos eran, al mismo tiempo, aparatos de observación y máquinas calculadoras; sobre ellos dibujaban hermosos signos y delicadas figuras, y sin necesidad de hacer cálculos determinaban sobre el aparato posiciones, épocas, horas, aún después de realizada la observación.

Los astrónomos árabes añadieron dos coordenadas para determinar la posición de los astros; perfeccionaron las fórmulas astronómicas, y tanto sus tablas como sus observaciones fueron las más completas y precisas, hasta que los astrónomos del Renacimiento confeccionaron las propias.

En relación a los modelos sobre la estructura del universo siguió el de Tolomeo; pero los astrónomos árabes no lo aceptaron como un dogma científico, sino por el dictado del sentido común, más propio de sus espíritus prácticos; la razón puede rastrear en el rol que le dieron a la astronomía como ciencia aplicada. Esta disciplina tenía un papel primordial al servicio de los camelleros del desierto, los mercaderes del Mar Mediterráneo y los fieles musulmanes, de territorios lejanos, que deseaban conocer la orientación de la Meca.

49 - Catalogaron muchas estrellas con nombres que aún se utilizan en la actualidad, como Aldebarán, Rigel y Deneb.



En efecto, los árabes fueron protagonistas de una serie de progresos, particularmente en la precisión de los artefactos, ese progreso se manifestó también en la fundación de observatorios con instrumentos especiales y la publicación de tablas astronómicas<sup>49</sup> con textos que explicaban tanto el uso de los diferentes dispositivos como también métodos para optimizar los modelos explicativos.

Los omeyas, una de las tribus fronterizas árabes que habían servido como soldados auxiliares para los romanos y culturalmente se habían helenizado, son reconocidos como quienes introdujeron la actividad científica en el mundo árabe. En el año 700 los omeyas fundaron en Damasco un observatorio astronómico y, en 773, Al-Mansur mandó traducir las obras astronómicas hindúes, los “Siddhantas”.

Entre los más importantes de aquellos observatorios se destacan los siguientes:

- El observatorio que formó parte de “la casa de la sabiduría” (Bayt al-Hikma), en Bagdad, fundado por Al-Mamún (813–833), donde se desarrollaron estudios sobre la oblicuidad de la eclíptica. Además, Al-Mamún hizo medir con gran cuidado el grado de meridiano terrestre. Poco después, Al-Farghani publicó “El libro de reunión de las estrellas”, un sorprendente catálogo con medidas muy precisas de la posición de cientos de estrellas.
- El observatorio de Ar-Raqqah, a orillas del río Eufrates, fundado por el extraordinario astrónomo sirio Abdallah Mohammad ibn Jabir Al-Battani (958-929). Desde allí determinó y corrigió las principales constantes astronómicas. Sus mediciones sobre la oblicuidad de la eclíptica y precesión de los equinoccios, fueron más exactas que las de Claudio Tolomeo.

Al-Battani realizó numerosas observaciones, y como resultado publicó el “Libro de las Tablas” o “Tablas Sabinas” [Kitab al-Zij o bien al-Zij al-Sabi] en el que catalogó 489 estrellas con gran precisión, usando por primera vez métodos trigonométricos. Además precisó la duración del año solar y señaló la existencia de eclipses anulares de Sol.

Al-Battani estuvo en contacto no sólo con las obras clásicas griegas y con las “Tablas Pah-lav” (un libro de efemérides persa) sino también con los más recientes avances matemáticos árabes, en especial con la obra de su compatriota, el matemático Ibn Qurra (826-901) quien tradujo el Almagesto al árabe.

Aunque Al-Battani se basó en el Almagesto, fue más allá y mejoró muchos de los datos observacionales. Sus Tablas Sabinas fueron publicadas en Europa en el siglo XII con el nombre “De Motu Stellarum”.

Notas sobre Ibn Qurra:

Thabit ibn Qurra abu’ l’Hasan ibn Marwan al-Sabi al’Harrani o, abreviadamente, Ibn Qurra realizó importantes aportes a la astronomía, entre los que se destacan sus traducciones de obras griegas. Gran observador, Ibn Qurra midió la duración del año sidéreo con un error de sólo dos segundos respecto del valor actual, por lo que pudo calcular con exactitud la precesión de los equinoccios, alcanzando un valor muchísimo más exacto que el obtenido por Tolomeo. Sin embargo, no se atrevió a pensar que el griego podía estar equivocado, así que propuso la llamada “teoría de la trepidación”, por la cual sugería



Dibujo de una constelación árabe.



Grabado que muestra una escuela árabe para astrónomos.

un valor variable para la precesión. Esta teoría gozaría de gran popularidad hasta el Renacimiento, cuando las precisas observaciones de astrónomos como Tycho Brahe confirmarían la constancia de este fenómeno.

- El observatorio que formó parte de “la casa de la ciencia” (Dar al-’Ilm) fundado por Al-Hakim en El Cairo, en 966. Allí, poco después, Ibn Yunis recopiló las observaciones astronómicas de los últimos 200 años y publicó las denominadas “Tablas Hakenitas”, llamadas así por su protector, Al-Hakim.
- El observatorio que se hallaba en Al-Andalús<sup>50</sup>, donde Al-Zarqalí (1027–1087)<sup>51</sup> elaboró las “Tablas Toledanas”, utilizadas durante más de un siglo para establecer el movimiento de los planetas. En términos instrumentales, se le atribuye a Al-Zarqalí una importante modificación al astrolabio (la azafea).

#### Notas sobre Al-Zarqalí

Al-Zarqalí nació en el año 1029 en la ciudad de Córdoba, entonces perteneciente al emirato de Al-Andalús. Se estableció en Toledo como forjador de hierro. Dada la habilidad que mostró en sus trabajos, los astrónomos de la escuela de Toledo le encomendaban la fabricación de instrumentos. Motivado por sus sorprendentes aptitudes, el juez Ben Said le acercó algunos de los tratados más importantes de la época, y el joven Al-Zarqalí los estudió con tanto interés que acabó siendo maestro de los mismos que le enseñaron. El talento de Al-Zarqalí se manifestó en todas las ramas de la astronomía y las matemáticas: fue un inventor ingenioso y un exímio constructor de aparatos. Escribió varios textos sobre su fabricación y manejo; casi todos ellos fueron traducidos al castellano o al latín en la corte del rey Alfonso el Sabio. El tratado sobre la azafea, un tipo de astrolabio inventado por Al-Zarqalí y el de la lámina universal, que trata “de las diversas maneras de allanar la esfera”, entre otros libros de astronomía y matemáticas, fueron consultados en toda Europa Occidental en los siglos posteriores.

Bajo la dirección de Al-Zarqalí, desde Toledo se realizaron numerosas observaciones, cuya precisión ha asombrado a los astrónomos de todos los tiempos. Los datos recogidos fueron ordenados en nuevas tablas de efemérides, las más importantes entre todas sus predecesoras; así surgieron las “Tablas Toledanas”, antes mencionadas.

<sup>50</sup> - Al-Andalús fue un emirato dependiente de Bagdad, en la península Ibérica.

<sup>51</sup> - Su nombre completo es Abuishac Ibraim Benyahaya el Nacax el Cortobí.

Por otra parte, Al-Zarqalí tuvo una mirada más audaz que sus antecesores en relación al sistema planetario, ya que fue el primero que hizo mover a los planetas interiores alrededor del Sol. También estudió la trayectoria de Mercurio y presentó un modelo original sobre las estrellas fijas. Sus textos fueron objeto de un minucioso estudio de parte de Regiomontano en el siglo XV y de Copérnico, en el siglo XVI.

Un invento de Al-Zarqalí que asombraba a los visitantes de Toledo eran dos clepsidras construidas a orillas del río Tajo; se trataba de dos estanques que se llenaban en el plenilunio y se vaciaban en el novilunio, de modo que los musulmanes de Toledo conocían a través de esos relojes de agua, el día del mes<sup>52</sup> y les permitía estimar la hora.

### Rasgos del astrolabio

Estos instrumentos, usados básicamente para la navegación hasta la invención del sextante, se basan en una proyección estereográfica de la esfera celeste. En su forma original requería una placa de coordenadas horizontales, distinta para cada latitud, pero Al-Zarqalí inventó una placa única que servía para todas las latitudes<sup>53</sup>.

Las partes de un astrolabio son:

- 1 - Una placa principal, delantera o “madre”, ahuecada para la colocación del “tímpano” y la “araña”.
- 2 - “Tímpano”. Se trata de una placa grabada con las coordenadas de la esfera celeste; incluye el cenit, el horizonte, líneas de altitud, acimut, ecuador y los trópicos de Cáncer y Capricornio. La parte delantera de la placa madre junto con el tímpano, le permite al observador identificar en que parte del mundo se encuentra y la hora.
- 3 - “Araña”. La araña es un mapa astral donde el eje central marca la posición de la estrella polar; la trayectoria del sol se muestra sobre el círculo eclíptico, el cual está dividido en doce signos zodiacales. Esta pieza representa al cielo visible de todo el mundo y sirve para ubicar al Sol.
- 4 - La “regla”. Situada sobre la araña, se usa para alinear la fecha sobre el círculo eclíptico con la hora correcta sobre el círculo horario; es decir, en un extremo señala al Sol y, por el otro, la hora.
- 5 - La “alidada”. Se usa para apuntar mediante pínulas con graduaciones en el dorso del astrolabio, es decir, la parte posterior de la placa madre.
- 6 - Parte posterior de la placa madre. Todas las observaciones y medidas se realizan en el dorso de la placa principal del astrolabio; el círculo graduado que le rodea se denomina “limbo”.

*52 - Debe tenerse presente que el calendario árabe se componía de meses lunares.*

*53 - La obra maestra de la técnica de fabricación de astrolabios corresponde a Ybn Al-Shatir (1305-1375), una herramienta matemática que podía ser usada para resolver todos los problemas comunes de astronomía esférica de varias formas diferentes. Este astrónomo mejoró los modelos matemáticos de Al-Tusi para las órbitas tolemaicas, influyendo en la obra de Copérnico, pues éste último incluyó varios de sus resultados en sus obras.*

Esta parte sirve para saber la altura de una torre, la distancia a esa torre y, a través de símbolos, identificar la constelación zodiacal en la que se halla el Sol en esa época.

- El observatorio fundado en Maragha (capital del nuevo reino del mongol Hulegu, en el actual Azerbaiyán) en 1262, por Násir al-Dín al-Túsi (1201–1274), presumiblemente asistido por astrónomos chinos.

En este observatorio y usando un cuadrante de cuatro metros, Al-Túsi resumió las observaciones de 12 años seguidos en las “Zij-i ilkhani” o “Tablas Ilkhanicas”. Además de sus observaciones, Al-Túsi abordó el problema de mejorar los modelos matemáticos de Tolomeo, en lo que se ha considerado el análisis más brillante hasta la aparición de la obra de Copérnico. Sus conclusiones fueron publicadas en el texto “Memoria de la astronomía” [al-Tadhkira fī’ilm al-hay’a] en la que introduce el llamado “par de Al-Túsi”, un refinamiento matemático del modelo de Tolomeo, mediante el cual pudo eliminar el deferente de las órbitas tolemaicas, haciendo posible la introducción de un movimiento uniforme respecto al centro, algo preferido desde el punto de vista filosófico por los sabios de la época. Aunque su trabajo no tuvo mucha aceptación, tuvo el mérito de mostrar que la obra de Tolomeo no sólo podía ser corregida en su vertiente observacional, sino que también sus modelos eran susceptibles de ser mejorados mediante un tratamiento matemático más refinado.

En 1247 aparecía “Comentario del Almagesto” [Tahrir al-Majisti ] en el que hace uso extensivo de la trigonometría para el análisis de las órbitas.

- El gran observatorio de Samarcanda fundado cerca de 1420 por Muhammed Targay Ulugh Beg (1393-1449), considerado la última figura clave de la astronomía árabe. En 1437, este astrónomo publica las llamadas “Tablas Zij” [Zij-i Djadid Sultani], un listado con la posición de 992 estrellas (con una altísima precisión para la época). Además de calcular con mayor precisión la duración del año y la inclinación de la eclíptica, sus tablas sólo serían superadas por la obra del danés Tycho Brahe, doscientos años después.

Aunque Ulugh Beg mejoró las observaciones de Tolomeo, su influencia estuvo limitada por la lejanía de su observatorio respecto a los sabios europeos, por lo que no fue ampliamente conocido en Europa hasta después de que Tycho Brahe publicase sus observaciones, convirtiendo por tanto al catálogo de Ulugh Beg en una obra obsoleta.

Tras el asesinato del Ulugh Beg en 1449, la actividad de este observatorio desapareció, y con él, se puede decir que finaliza la etapa de investigación astronómica avanzada en los países islámicos. A partir de entonces, el relevo lo tomaría la Europa renacentista.

Astrolabios islámicos.



# 6. la mirada europea

En Europa, el renacimiento de la astronomía se inicia en 1164 con la traducción del griego del Almagesto y, poco después, del árabe, en 1175, con la versión popular de Gherardo de Cremona (1114–1187).

En 1085 junto con la conquista de la ciudad de Toledo por el rey Alfonso VI, se inició un movimiento de traducción de muchas obras escritas en árabe al latín. En particular, en la escuela de traductores de Toledo se tradujeron una serie de datos astronómicos sobre la Luna y los planetas, luego conocidos como Tablas Toledanas y también el Almagesto de Tolomeo. Así, por ejemplo, las “Tablas Toledanas” de Al-Zarqālī, traducidas en 1187, formaron parte del uso común a comienzos del siglo XIII hasta que fueron sustituidas por las “Tablas Alfonsinas”, que se instalaron poco después en los grandes centros universitarios de Oxford (Inglaterra) y París (Francia) a principio del siglo catorce.

Las Tablas Alfonsinas fueron redactadas en 1274 por orden de Alfonso X de Castilla (1226-1284) gracias a los conocimientos aportados por los musulmanes de Al-Ándalus, que ayudaron a diseminar por toda Europa el saber astronómico que se había perdido tras la caída del Imperio Bizantino.

Esas tablas de datos, acompañadas con sus tratados<sup>54</sup> contribuyeron decisivamente al desarrollo intenso de la construcción y el uso de nuevos instrumentos astronómicos, muchos ideados y probablemente contruidos por estudiosos como el francés Jean de Linières (1320–1350), Riccardo de Walligford (1292–1335) y por otros astrónomos del “Metton Collage” de Oxford.

De esa época, también se conocen las precisas observaciones del astrónomo chino Cocheu-King, hechas entre 1277 y 1280, y también algunos de los instrumentos creados para las mismas, entre los que se destaca un enorme gnomón.

*54 - Se trataba de explicaciones y textos concernientes a los instrumentos.*

Hacia fines del siglo XIV el interés por los temas astronómicos, tanto en Inglaterra como en Francia, había perdido parte de su ímpetu inicial sin que se fundase ningún observatorio importante o quedase instalada alguna tradición en el arte de construir instrumentos de observación celeste.

El inicio del renacimiento para la construcción de artefactos astronómicos surge en Alemania, durante la segunda mitad del siglo XV.

Una de las primeras noticias sobre la existencia de artesanos especializados es la adquisición hecha por el cardenal Niccoló de Cusa (1401–1464) de tres instrumentos: una gran esfera de madera, un torquetum y un astrolabio, y 15 libros sobre astronomía, efectuada durante una visita a Nuremberg, en septiembre de 1444. Allí había un centro de artesanos que trabajaban los metales, materiales corrientes en la construcción de los instrumentos de precisión del tipo usado por los astrónomos.

Otra confirmación de la importancia de Nuremberg en la historia de la fabricación de instrumentos astronómicos fue el hecho que cuando Regiomontano<sup>55</sup> se estableció en esa ciudad (1471) escribió haber escogido esa ciudad “porque yo encuentro allá todos los instrumentos peculiares de la astronomía y allá es muy fácil para mí estar en contacto con los doctores de todos los países”.

Durante todo el siglo XVI, hasta el fin de la Guerra de los Treinta Años<sup>56</sup>, Nuremberg y Augusta produjeron ingeniosos instrumentos de exquisita factura; en el presente, muchos estados europeos conservan algunos de ellos como obras de arte, ya que era muy común que esos artefactos llevaran la fecha y la firma del constructor, una costumbre habitual de los artistas con su obra.

También en Italia, particularmente en la segunda mitad de ese siglo, hubo quienes se ocuparon de este tipo de labores, pero no hay registros de que se constituyese ninguna escuela de especialización comparable a la alemana durante el mismo período.

Algunos de los más bellos ejemplares aún existentes de astrolabios y de otros instrumentos fueron construidos por el sobrino del astrónomo Gemma Frisius (1508-1555), Walter Arsenio, en un taller compartido con Gerhard Mercatore (1512-1594).

*55 - Astrónomo alemán nacido en Königsberg en 1436 y fallecido en Roma, en 1476. Su verdadero nombre era Johan Müller, pero adoptó el nombre de su pueblo en latín. Fue un seguidor empedernido de Tolomeo, se mantuvo intransigente sosteniendo que la Tierra estaba inmóvil en el universo e hizo observaciones sobre un cometa, que posteriormente se redescubriría como el cometa Halley. Fue probablemente el matemático que mayor influencia ejerció durante el siglo XV. Instaló una imprenta en Nuremberg con el fin de imprimir traducciones de Arquímedes, Apolonio, Herón y Tolomeo, pero su trágica muerte a los 48 años quebró su proyecto. Una de sus obras más conocidas es “De Triangulis” en el que organiza y sistematiza la trigonometría como una materia independiente de la astronomía. Este libro contiene un detallado estudio sobre las propiedades y resolución de triángulos.*

*56 - Se trata de una guerra librada principalmente en la Europa central entre los años 1618 y 1648.*



El inglés conocido como Sacrobosco (John Halifax o John de Holywood) fue el primer europeo en escribir sobre el sistema de Tolomeo. Falleció en 1256. Su libro "Sphaera Mundi" fue el texto de astronomía más importante por casi 400 años. En esta imagen, que pertenece a una edición de 1537, se ha ilustrado a Sacrobosco escribiendo su libro.

Desafortunadamente, después de una corta existencia, ese taller fue desmantelado hacia 1578.

En Inglaterra, cierta producción de instrumentos se debe a Nicolas Kratzer (1486- 1550), un bávaro que enseñó astronomía en Oxford. Los primeros artesanos auténticos parecen haberse formado bajo la tutela de John Dee (1527–1608) y Leonard Digges (cerca del 1550) durante una época en que Inglaterra sostuvo gran interés por la empresa marítima y la exploración territorial.

Siempre en Inglaterra, el primer constructor de instrumentos matemáticos fue Thomas Gemini (del 1524 al 1562). Luego, le siguió Humfray Cole (1530–1591), en la época de la reina Elizabeth I; aún hoy, perdura una gran variedad de instrumentos hechos por Cole, notables por el ingenio de su construcción y la fineza de su acabado. El número de fabricantes de instrumentos creció bastante después de Cole; a su producción de astrolabios, relojes de Sol y cuadrantes, se sumó una serie de artefactos para relevar y medir, proyectados para cumplir lo que entonces se denominaba experimentos filosóficos<sup>57</sup>.

*57 - Hasta la modernidad los términos "experiencia" y "experimento" se consideraban sinónimos. Se utilizaba indistintamente cualquiera de los dos para referirse a lo observable. Con el desarrollo de la ciencia moderna, a partir del Renacimiento, la introducción de la observación controlada y el creciente uso de instrumentos que permitieron medir y regular adecuadamente el fenómeno, (o el aspecto del mismo que se desea observar) se provocó cierta distinción entre ambos términos, limitándose el uso del término "experimento" a este tipo de observación regulada.*



# 7. Tycho Brahe

*La ciencia que la humanidad tiene en un momento dado depende de lo que es la humanidad en ese momento.*

*Georg Simmel (1858-1918)*

## 7.1 Uraniburg

Tycho Brahe se conoce como el primer astrónomo en aplicar efectivamente el concepto de precisión en las mediciones celestes. Nadie antes que él se preocupó por buscar resultados con artefactos bien calibrados ni por construir instrumentos que proporcionaran mediciones confiables y precisas. Es más, fue el primero que realizó un programa de mediciones cuidadosas y sistemáticas de los astros. Además de su notable examen del Sistema Solar, el nuevo mapa del cielo hecho por Tycho Brahe comprendía un millar de estrellas. Por último, fue utilizando los datos planetarios de Brahe que Johannes Kepler (1571-1630) arribó a las leyes que hoy llevan su nombre y dan cuenta del movimiento de los planetas en torno al Sol.

Fue en la isla de Hven<sup>58</sup>, ubicada entre Copenhague y el Castillo de Elsinor, donde Brahe, a expensas del estado danés, montó en 1580 un observatorio astronómico a ojo desnudo, cuyos instrumentos alcanzaron la mayor precisión de la era pretelescopica de la astronomía.

<sup>58</sup> - Conocida como la "Isla Escarlata", Brahe la rebautizó "Isla de Venus" (Hven).



Ilustraciones de Uraniburg. Fachada del castillo-observatorio.

La isla de Hven se encuentra sobre acantilados junto al mar, con unos 5km de largo y unas 500 hectáreas de superficie; entonces estaba poblada por unas 40 granjas alrededor de un pequeño poblado. En su territorio, Brahe levantó una auténtica fortaleza denominada Uraniburg<sup>59</sup> donde vivió durante 20 años y enseñó al mundo los métodos de la observación exacta.

Uraniburg era un castillo de base cuadrada, de unos 15 m de lado, con anexos circulares hacia el norte y el sur. Tenía un sótano, dos pisos y un desván. El sótano tenía, en la parte norte, un sitio para almacenar alimentos y otros elementos.

En la zona sur, Brahe montó 16 hornos donde realizaba experimentos de alquimia. La cocina estaba en el extremo norte del primer piso y la biblioteca en su extremo sur. En ese piso, además, había cuatro cuartos, algunos para la vida cotidiana y otros para el alojamiento de huéspedes. Hacia el oeste, en el

segundo piso, había un gran salón con una vista maravillosa, al que llamaban el “cuarto del verano”. Hacia el este, habían dos cuartos más pequeños, llamados “del rey” y “de la reina”; en cada uno de los extremos de las extensiones norte y al sur habían dos observatorios circulares (uno grande y otro pequeño) ambos con cúpulas que se abrían en cualquier dirección. En el contorno de las torres de observación había balcones, en cuyas barandas se ubicaron soportes para montar instrumentos. Finalmente, en el desván había ocho compartimientos pequeños, destinados a los ayudantes del astrónomo.

La fachada de Uraniburg era renacentista y estaba coronada por un domo flanqueado de torres cilíndricas, cada una de las cuales tenía un techo móvil, que albergaba los cuartos donde estaban instalados los instrumentos de observación. A su alrededor habían galerías con relojes, cuadrantes solares, globos celestes y esculturas alegóricas al cielo y los astros. En la biblioteca del castillo se alzaba un globo que representaba la esfera celeste<sup>60</sup>, sobre el cual se grabaron la posición de las estrellas fijas determinadas por Brahe y su equipo de colaboradores. Un sistema de comunicación le permitía a Brahe hacer sonar una campanilla en el cuarto de cualquiera de sus ayudantes, lo cual hacía que sus invitados<sup>61</sup> creyeran que los convocaba por arte de magia.

<sup>59</sup> - Uraniburg significa algo así como Ciudad de Urania, en evocación de Urania, la musa griega de la astronomía.

<sup>60</sup> - Ese globo estaba hecho de latón y tenía 1,5 m de diámetro, y se lo usó para confeccionar un nuevo mapa del cielo.

<sup>61</sup> - Los invitados conformaron una incesante e interesante procesión: sabios, cortesanos, príncipes y miembros de la realeza, incluido el propio rey Jaime VI de Escocia.



**SUPERIOR.** Panorámica de Uraniburg con sus jardines.s.  
**MEDIO.** Excavaciones realizadas en 1951, en el sitio de emplazamiento de Stjerneborg. **INFERIOR.** Distribución de las cúpulas e instrumentos superficiales en Stjerneborg (Atlas Major de Blaeu, 1663).



Más tarde, en 1586, Brahe instaló en Hven un segundo observatorio, al que llamó “Stjerneborg” (Ciudad de las estrellas) construido enteramente bajo tierra para proteger los instrumentos de las vibraciones y del viento; los techos de los cubículos donde se los ubicó, tenían forma de domo y eran lo único situado por encima del nivel del piso; habían cinco domos cavados bajo el nivel del piso y con azoteas que podían ser abiertas o quitadas.

Entre las cúpulas había un pequeño cuarto cuadrado de 2,5 m de lado, donde había una estufa para la calefacción, una mesa donde hacer cálculos y en sus paredes se colgaban algunos instrumentos pequeños<sup>62</sup>.

Ambos observatorios se llenaron de artefactos y autómatas<sup>63</sup>. Luego de los instrumentos con que dotó a Uraniburg, Tycho Brahe construyó una segunda tanda, compuesta por artefactos más grandes y más precisos, a los que ubicó en Stjerneborg. En cada uno de sus domos subterráneos instaló un instrumento de observación<sup>64</sup> diferente.

Stjerneborg estaba rodeado por una pequeña muralla, formando un cuadrilátero de 18 m de lado, con su puerta de entrada dirigida al norte. Sobre esa muralla se colocaban soportes para apoyar diversos instrumentos. Contaba con un gran dormitorio para Brahe y un cuarto más pequeño, para que sus ayudantes se recostaran si la observación se interrumpía porque el cielo se nublaba.

<sup>62</sup> - Por ejemplo, ballestillas del tipo de las incluídas en la “Torre de Observación” del Solar de las Miradas.

<sup>63</sup> - Muñecos movidos por mecanismos ocultos, que repetían ciertos gestos y ademanes.

<sup>64</sup> - En una de ellas se hallaba el Sextante Astronómico Triangular, similar al montado en el Solar de las Miradas.

## 7.2 La mirada de Tycho Brahe

En la época del Renacimiento los principales instrumentos usados por los astrónomos eran los globos celestes, las esferas armilares y los cuadrantes.

El globo celeste es una esfera parecida a los globos terráqueos comunes, pero que tiene un mapeo de las estrellas, tal como si hubiesen sido proyectadas sobre su superficie. Para construir un globo celeste es preciso conocer las posiciones de las estrellas que se incluirán y, cuanto más precisas sean las mediciones de esas posiciones, mejor será el mapa del cielo dibujado en el globo. Los globos celestes eran dispositivos usados como referencia para conocer las posiciones de los astros que se tenían catalogados; no se trataba de un instrumento de medición.

Brahe trabajó sobre un globo celeste de un metro y medio de diámetro, durante más de 25 años. Hacia 1595 había completado alrededor de un millar de posiciones estelares sobre el mismo<sup>65</sup>.

Convencido de que debía buscar la perfección en sus instrumentos, se preocupó por encontrar a los mejores artesanos que pudiesen interpretar sus diseños, sus dimensiones y aceptar el rigor que le imponía a las escalas y graduaciones.

A pesar de conseguir que se cumplieran sus especificaciones, instaló un taller de construcción de dispositivos de observación astronómica en la isla de Hven y allí entrenó personalmente a sus propios técnicos. Celoso de sus creaciones, no dejó que ningún visitante de Uraniburg presenciara la labor de sus constructores de instrumentos.

El instrumento más común usado para hacer mediciones de la posición de un astro era el cuadrante. Estaba conformado por un arco de circunferencia orientable y graduado en fracciones de grados sexagesimales. Para orientarlo, se podía hacer girar alrededor de un eje horizontal para ajustar la coordenada respectiva (el azimut) y de otro eje vertical, con la que

*65 - Vale destacar que de esas estrellas, las posiciones de 777 estaban determinadas con toda exactitud, mientras que las restantes 223 fueron colocadas apresuradamente poco antes de que el astrónomo abandonara Uraniburg tan sólo para llegar a una cifra redonda.*

se determinaba la altura del astro (ángulo que da cuenta de la altitud del astro respecto del plano del horizonte). Se usaba dirigiendo uno de sus radios libres, provisto de mirillas, hacia el astro; la altura se leía directamente en el arco y el azimut en la base.

De esta manera, el cuadrante astronómico compartía con el clásico astrolabio la misión de obtener la altura de los astros sobre el horizonte, obteniéndose con la declinación del astro la latitud de un lugar dado; en general, un observador divisaba el astro por las pínulas del cuadrante y el otro leía el valor de la escala marcado por la plomada.

El sextante surgió como desarrollo del octante (cuyo sector comprende solo  $45^\circ$ , la octava parte de la circunferencia) y del quintante por la necesidad de obtener medidas de astros distantes de forma “exacta”, mediante el método de las distancias lunares.

El arco del primer cuadrante que fabricó Brahe medía 5,5m, un tamaño inusual para un instrumento astronómico. Brahe necesitaba que sus aparatos fuesen muy grandes para poder alcanzar la máxima precisión posible.

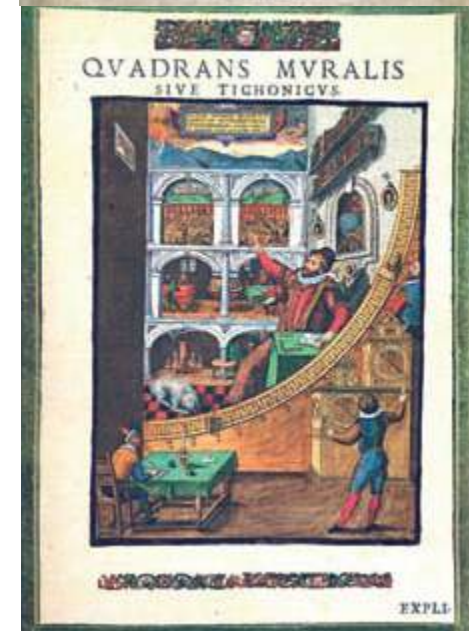
En su época, los mejores instrumentos tenían una resolución de unos cinco minutos de arco ( $5'$ ). Ante esa situación, con sus artefactos, Brahe buscaba alcanzar el minuto de arco ( $1'$ ) o aún menos. Era tan pesado que se necesitaron 40 hombres para trasladarlo hasta su posición definitiva. Su manipulación era bastante complicada; costaba tanto trabajo orientarlo que sólo alcanzaban a completar una medición cada noche. Brahe lo abandonó y comenzó a construir otros instrumentos, buscando que sean más eficientes.

Con esa idea, Brahe construyó un cuadrante mural sobre una de las paredes del castillo de Uraniburg. Empotró un arco de bronce de  $90^\circ$  en un muro correctamente orientado en la dirección este-oeste; el radio de ese arco era de dos metros. Para orientarlo y leer las medidas se necesitaban tres personas.



Tycho Brahe.

El otro gran instrumento construido en los talleres de Brahe fue la armilla ecuatorial máxima, que el danés consideraba el más importante de sus artefactos celestes. Las armillas ecuatoriales tenían el mismo propósito que los cuadrantes, pero mientras que el diseño de estos últimos permitía encontrar la posición de las estrellas que se mantenían fijas en algún punto de la esfera celeste, la armilla ecuatorial brindaba la oportunidad de medir el recorrido de los planetas dentro de la banda zodiacal.



**SUPERIOR.** Portada de unos de los libros de Tycho Brahe. **INFERIOR.** Ilustración que da cuenta del Gran Cuadrante Mural de Tycho Brahe.

# el observatorio

## el observatorio

*En parte, el arte completa lo que la naturaleza no puede elaborar  
y, en parte, imita a la naturaleza.*

*Aristóteles (384–322 a.C.)*

# 1. introducción

Hasta la aparición del telescopio, la actividad de observación del cielo fue dominada por instrumentos que materializaban las referencias inventadas por los antiguos astrónomos para seguir a los astros y describir sus movimientos, sus aspectos y sus interrelaciones.

Como mencionamos, las circunferencias, los círculos y las esferas rigieron gran parte de los modelos que permitieron explicar los fenómenos observados, antes que las elipses ingresaran en la astronomía.

Se buscaron armonizar arcos y segmentos, ángulos y longitudes, escalas y graduaciones, mediante un conjunto de artefactos de metal, piedra y madera que, en esencia, sólo acomodaban la visual dentro de un modelo teórico y práctico, que arrojase resultados coherentes con lo observado.

Las sombras producidas por el Sol sobre diferentes indicadores fueron quizás el rasgo más recurrente de las observaciones diurnas, mientras que el levante y el poniente de algunas estrellas, rigieron las nocturnas. La misma concepción del mundo dependía de esas observaciones.

La exactitud en la medida fue una búsqueda y una conquista que abarcó tanto a las dimensiones espaciales como a la temporal; en su derrotero, los artefactos crecieron en tamaño para alcanzar la precisión pretendida.

Finalmente, desde Kiddinou en Caldea, hasta Brahe en Dinamarca, miles de años de paciente observación de los astros fueron compilados en tablas y tratados en los que diferentes culturas aportaron diversas miradas.

Los observatorios a ojo desnudo, es decir, sin telescopios sino con instrumentos como los descritos por Tales, Tolomeo o el mencionado Brahe, ya no se construyen en la actualidad.

Sin embargo, estamos convencidos que ese tipo de observatorios brinda una oportunidad singular para que un individuo no sólo conozca parte de la historia de la astronomía a través de sus instrumentos más antiguos, sino para que construya o recree la mirada que permitió fundamentar los principales modelos de esa ciencia.

Con esa idea, reproducimos y reunimos algunos de aquellos instrumentos primitivos junto a otros dispositivos, con objeto de equipar un predio que, aunque moderno, sostenga la mirada de los antiguos observatorios a ojo desnudo; con esa intención concebimos el Solar de las Miradas.

Elegimos la denominación de “solar” porque esa palabra, aunque su raíz indudablemente está asociada a un cuerpo extraterrestre, en el lenguaje cotidiano remite también a un espacio terrestre: un terreno despejado y amplio, un sitio de sosiego y reflexión.



Hablar de un solar refuerza, además, la idea de que muchos de los antiguos artefactos de observación dependían de la luz solar o bien de las sombras que ésta produce en los objetos, y también a que eran usados de día.

Por otra parte, dado que el cielo es un concepto que depende de la visión del observador, y que todos los artefactos se sustentan en la operación de dirigir y perfeccionar esa visión, concebimos este observatorio como un espacio abastecido y dominado por las miradas de los visitantes, con esta idea completamos su denominación: Solar de las Miradas.

Destacamos también que probablemente varios de los instrumentos que escogimos se erigen por primera vez en Argentina y que, conscientes de que la mayoría de los artefactos fueron creados en el hemisferio norte, para muchos de ellos es su primer uso bajo el cielo del sur.

Por otra parte, independientemente de la fecha en que se fundó el último observatorio astronómico a ojo desnudo en el mundo, podemos asegurar que el Solar de las Miradas puede considerarse el primero en su tipo del siglo XXI.

El Solar de las Miradas puede definirse también como una instalación astronómica y artística.

Se vincula con la astronomía porque reunimos allí una colección de instrumentos históricos, muchos construidos recreando

artefactos usados en la época anterior a la invención del telescopio, similares a los que permitieron a los antiguos observadores, obtener abundantes datos sobre los astros. Fue con esa información, que los astrónomos construyeron varias de las teorías y de los modelos más trascendentes de esa ciencia.

Junto a esos instrumentos hay una serie de dispositivos que, al recorrer el Solar de las Miradas, permite dimensionar una parte de la historia de la astronomía y acceder a los procedimientos que entusiasmaron y ocuparon a los astrónomos anteriores a Galileo Galilei. Esos artefactos intentan sensibilizar al visitante para percibir y conceptualizar ciertos fenómenos astronómicos. Las ideas involucradas en la elaboración y el propósito de cada instrumento seleccionado, se vinculan con la mayoría de las ideas básicas que debería construir una persona astronómicamente alfabetizada, lo que convierte a la instalación en una potencial herramienta didáctica de alto impacto.

Por otra parte, el Solar también es una instalación artística, ya que si bien los objetos reproducen en gran medida las formas y dimensiones de los instrumentos originales, incluso el tipo de materiales con que fueron confeccionados, su estética y diseño llevan la marca subjetiva y emocional de los artistas que los construyeron.

Al igual que en Uraniburg o en Stjerneburg, en el predio del Solar de las Miradas hay instrumentos y objetos de arte, solo que fusionados.

## 2. fundamentos

*Uno de los motivos más fuertes que llevan a los hombres al arte y a la ciencia es el escape de la vida cotidiana con su crudeza dolorosa y la tristeza desesperada, de las trabas de los propios deseos en la cambiante vida de uno. Una naturaleza finamente templada anhela escapar de la vida personal en el mundo de percepción objetiva y pensamiento.*

*Albert Einstein (1879-1955)*

La experiencia de recorrer un sitio donde a través de ciertos objetos se materializan algunos hitos del pensamiento científico supone una situación colectiva y a la vez individual.

Aunque un grupo de personas recorra el Solar de las Miradas en conjunto, simultáneamente, cada una de ellas atravesará una experiencia particular.

Cada individuo seguirá su paseo encontrándose con objetos, fenómenos y escenarios que le darán cuenta del motivo de la instalación. Todos, además, ante el mismo objeto de estudio: el cielo.

Con la idea de que los visitantes atravesen esa experiencia singular durante el recorrido, hemos apuntado a realzar lo contingente. Queremos decir que el encuentro con los artefactos y sus fenómenos asociados resulta del orden de lo contingente ya que sucede a modo del uno por uno.

En otras palabras, sabemos que en su recorrido cada visitante se dirigirá al encuentro de una experiencia que no puede ser anticipada, a menos que se trate de un experto en la

materia, por ejemplo, en la historia de la astronomía. En ese caso, lo *contingente* se enfrenta a lo ya sabido, lo ya conocido, como aquello escrito en una guía a seguir; ese modo de presentación no dará jamás lugar a la sorpresa. En cambio, mostrar la vía de un encuentro posible es apostar a la sorpresa que el visitante pueda vivir. En este sentido construirá su experiencia a partir de lo que vaya encontrando; en efecto, parte de la motivación de recorrer el Solar de las Miradas se basa en no saber qué se va encontrar precisamente.

En síntesis: situamos el fundamento de la nuestra propuesta alrededor de dos conceptos: el de acontecimiento y el de singularidad.

Interpretamos la idea de sujeto del filósofo Alain Badiou, cuando apunta a que dicho sujeto no existe “per se”; es decir, lo que existe es un ser particular convocado por las circunstancias a devenir en sujeto. Esto quiere decir que todo lo que es su cuerpo, sus capacidades, se encuentren en un momento determinado para que una verdad haga su camino.

¿Cuáles son esas circunstancias? Son las circunstancias de una verdad.

¿Cómo podemos definir esas circunstancias? Badiou dice que lo que hay (los múltiples, las diferencias infinitas, las situaciones objetivas, por ejemplo) no puede definir una circunstancia tal, ya que en este tipo de objetividad, el ser, universalmente, se desenvuelve como puede. Entonces suponemos que lo que convoca a la composición de un sujeto es un plus<sup>1</sup>.

Decimos, con Badiou, que un sujeto que sobrepasa al ser, exige que algo haya pasado, algo irreducible a su inscripción ordinaria en “lo que hay”. A ese plus, a ese suplemento suele llamárselo acontecimiento<sup>2</sup>. El acontecimiento, en cambio, coacciona a decidir una nueva manera de ser. Badiou sitúa, a modo de ejemplo, algunos testimonios de acontecimientos diversos: la Revolución Francesa de 1792, el encuentro de Eloisa y Abelardo, la creación galileana de la física, la invención de Haydn del estilo musical clásico, la revolución cultural china de los ‘60, la creación del matemático Grothendieck de la teoría de los topoi, la invención por Scherberg del dodecafonismo, entre otros.

Pero también un acontecimiento es una pasión personal.

*1 - O bien sobreviene en situaciones como aquello de lo que dichas situaciones y la manera usual de comportarse allí no pueden dar cuenta*

*2 - Según Badiou, se distingue del ser múltiple, donde no se trata de la verdad sino solamente de opiniones.*

En nuestro proyecto, buscamos que la experiencia de recorrer el Solar de las Miradas, se pueda fundir con el concepto de acontecimiento de Badiou. Para ello, concebimos lo expuesto como una serie de acontecimientos del pensamiento racional; en otras palabras, *marcas* en la historia científico/astronómica del sujeto. En esa concepción, además, no aspiramos a que los individuos observen acontecimientos, sino que el propio recorrido por el Solar de las Miradas provoque un acontecimiento en él.

Por otra parte, dijimos también que parte de nuestros fundamentos se sostiene en el concepto de singularidad, esto es: si hablamos del acto fundante que conlleva a un acontecimiento, es porque tiene características de singular.

En un sujeto la experiencia del acontecimiento se dirige a lo singular de su ser, en este sentido aparece la dimensión de una verdad. El acontecimiento apunta a lo singular del sujeto, ya que aquello que se funda está fuera de todas las leyes de la situación y obliga a inventar una nueva manera de ser y de actuar en la situación.

Para el desarrollo del paseo, finalmente, nos preguntamos cómo participa un individuo en el proceso de observar un acto, en este caso una serie de actos dentro de una instalación como el Solar de las Miradas.

En la respuesta se halla la estructura de nuestra propuesta: el individuo se sorprende (ya que se prepara para un encuentro del orden de lo contingente), fundando un acontecimiento con lo que observa y con lo que participa y, por último, arriesgándose a inventar por afuera de las leyes establecidas (o premisas) y las reglas convenidas histórica y culturalmente.

# 3. descripción general

*La ciencia es como la tierra; sólo se puede poseer un poco de ella.*

*Voltaire (1694-1778)*



En el Parque Astronómico de La Punta (PALP) coexisten varios espacios destinados a la astronomía:

- *un edificio que alberga un planetario*, donde es posible simular el cielo mediante un sofisticado sistema lumínico comandado por una computadora.
- *un edificio metálico*, desarmable, que alberga un segundo planetario. Este instrumento y su alberque de metal viajan por el interior de la provincia, visitando ciudades y pueblos, escuelas y clubes, dando funciones de astronomía para escolares y público en general.
- *un edificio con cúpula*, donde se ha montado un potente telescopio para uso directo y remoto; se trata del observatorio óptico del PALP.
- *un espacio virtual*, destinado al PALP, con información sobre las actividades que se llevan adelante y también con abundantes datos astronómicos.

Todos estos elementos se fueron sumando paulatinamente al Solar de las Miradas, un espacio abierto con instrumentos para la observación astronómica a ojo desnudo.

**SUPERIOR.** Instrumento planetario de la ULP en la FIT, Bs. As. Edificio metálico, desarmable, con el que se dan funciones con el planetario itinerante de la ULP por todas las localidades de la provincia, y en salidas especiales a otros lugares del país. **INFERIOR.** Telescopio ubicado en el observatorio del PALP.

*3 - Los potenciales observadores pueden conectarse desde su computadora personal con el observatorio y realizar observaciones con el telescopio ubicado en La Punta.*

**SUPERIOR.** Un sector del Camino Equinoccial Occidental, tomado a ras del piso. Se aprecia aquí el poste con el cartel que indica la dirección del punto cardinal oeste y detrás la Torre de Observación. **MEDIO.** Aspecto de un tramo del Camino del Eje Menor, en dirección al centro de la elipse, donde se halla la Torre de Observación. **INFERIOR.** En este edificio, ubicado en el predio del PALP, se alberga el telescopio con el que se pueden hacer observaciones en forma remota, a través de la Aupista de la Información de San Luis. Este observatorio está a pocos metros del Solar de las Miradas.



El Solar propiamente dicho se trata de un predio de algo más de media hectárea de superficie, ubicado dentro del Campo Universitario de la Universidad de la Punta, a pocos kilómetros de la ciudad homónima, en la provincia de San Luis.

Luego de desmalezar el lugar, se ha trazado una figura elíptica, cuyos ejes tienen una longitud de 62 m (eje menor) y 124 m (eje mayor), dentro de la cual se trazó un diagrama de circulación para los visitantes y se ubicaron los instrumentos.

En el perímetro de esa figura se dispuso una calzada de circunvalación de 1m de ancho, a la que denominamos “Camino Ecliptical”, ya que deliberadamente evoca a la eclíptica, el nombre dado a la trayectoria anual aparente del Sol en los antiguos modelos geocéntricos. El domo metálico que alberga al telescopio y el edificio del planetario fijo, se hallan en los extremos opuestos del eje mayor de elipse.

Esos ejes también se convierten en senderos dentro del Solar de las Miradas, estos son el “Camino del Eje Menor” y el “Camino del Eje Mayor”. Sobre el segundo, ubicamos dos mojones que identifican los focos de la figura elíptica trazada en el predio.

**SUPERIOR.** Zona donde se montó el Solar de las Miradas, previo a su desmalezamiento. **INFERIOR.** Actividad de desmonte del predio.

Otros dos caminos cruzan el Solar, son los que materializan las direcciones norte-sur, el “Camino Meridional”, y la dirección perpendicular o este-oeste, “Camino Equinoccial”. Ambos recorridos fueron divididos en dos fragmentos desde su cruce en el centro del Solar, tan solo para la mejor identificación del visitante<sup>4</sup>.

Los cuatro caminos (Meridional, Equinoccial y de los Ejes Mayor y Menor) confluyen en un círculo central, donde se alza una edificación que denominamos Torre de Observación, ya que recuerda los miradores donde se montaban los antiguos instrumentos astronómicos o simplemente se ubicaban los astrónomos para mirar el cielo.

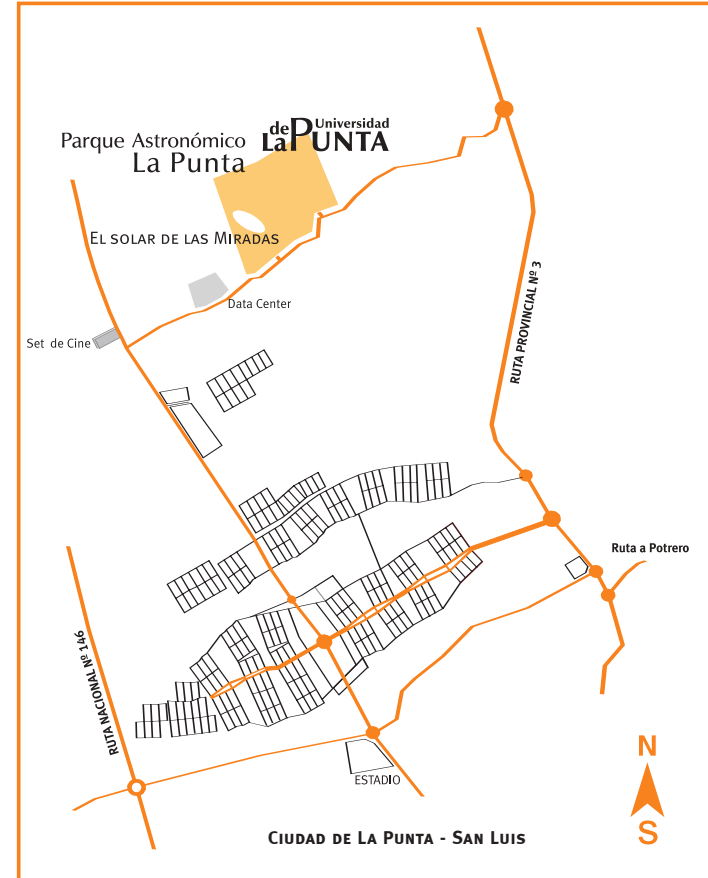
Una escalera lateral permite visitar la azotea de la Torre y observar el Solar en su conjunto. En el interior de la Torre, por su parte, se guardan algunos instrumentos de observación de mano, por ejemplo: los tubos para mirar, y otros elementos didácticos, por ejemplo: un contador de estrellas.

En la superficie que encierra el Camino Ecliptical emplazamos los instrumentos y dispositivos de observación celeste, en una distribución que permite múltiples recorridos.

<sup>4</sup> - El Camino Meridional se divide en Norte y Sur. El Camino Equinoccial, por su parte, en Oriental y Occidental.



### Ubicación del PALP y el Campus Universitario.



Las posibilidades de circulación del Solar de las Miradas son varias y diversas, tan sólo señalamos algunos trayectos posibles<sup>5</sup>:

- (1) *histórico*, comenzando por los artefactos más antiguos (como el Gnomón) hasta alguno de los más sofisticados instrumentos de Tycho Brahe (como la Armilla ecuatorial máxima);
- (2) *tecnológico*, para apreciar algunos cambios de concepción en la estructura y función de los artefactos de observación celeste;
- (3) *astronómico*, en el cual el visitante va identificando y construyendo los principales conceptos implicados en los resultados esperables de la observación para la que fue concebido cada instrumento.

<sup>5</sup> - Con un contingente de estudiantes, de cualquier nivel, el Solar de las Miradas permite, didácticamente, diferentes recorridos de acuerdo al tema que se busque desarrollar.



### 3.1 Ingreso, bancos y carteles

La ubicación del PALP está debidamente señalizada en las rutas que lo conectan con la ciudad de La Punta y San Luis, sus localidades más cercanas.

La entrada al PALP es un enorme portón metálico que conecta a un sendero que lleva directamente al Solar de las Miradas, pasando por un espacio reservado para el estacionamiento, baños y en donde se alza también el edificio del planetario fijo.

En el ingreso al Solar de las Miradas hay dos placas: una que contiene un plano general del lugar y otra que da cuenta de su inauguración.

Dentro del predio elíptico del Solar de las Miradas y en su contorno, se han ubicado una serie de bancos temáticos, para descanso y contemplación de los instrumentos. Doce de ellos, que denominados bancos zodiacales, están en el perímetro, el resto dentro de la elipse.

Los bancos zodiacales están separados aproximadamente unos 30° uno del otro. El aspecto de esos bancos, evoca a cada una de las 12 constelaciones del Zodíaco.

**SUPERIOR.** Cartel vial que da cuenta de la cercanía del PALP. **MEDIO.** Vista de la entrada al PALP y de su imponente portón. **INFERIOR.** Detalle de la placa con el plano del Solar de las Miradas y referencias de los objetos exhibidos.





**SUPERIOR.** Placa de la inauguración. **INFERIOR.** El Sol móvil, ubicado cerca del banco zodiacal correspondiente a la constelación de Virgo. En la época en que se tomó la fotografía, el Sol verdadero podía hallarse atravesando esa región del cielo.

Una escultura que representa al Sol es el único de los artefactos de gran tamaño que puede trasladarse en el Solar de las Miradas. Lo denominamos *Sol Móvil*. Se lo ubica sobre el Camino Ecliptical, cercano al banco zodiacal que corresponde a la ubicación aparente del Sol verdadero en cada época. De esta manera, el visitante puede obtener ese dato astronómico, históricamente relevante, con sólo identificar en qué zona del Camino Ecliptical, dominada por un determinado banco zodiacal, se ha colocado el Sol Móvil en la fecha de su visita.

A los doce zodiacales, se le suman otros 15 bancos temáticos que evocan diferentes temas astronómicos y están ubicados en zonas interiores del predio. Todos los bancos han sido pensados, además, para favorecer el descanso y la contemplación de los instrumentos.

Finalmente, todos los instrumentos, bancos y dispositivos, tienen un cartel ubicado en sus cercanías, que indican el nombre y una breve descripción de su función.

## 3.2 Inauguración

El PALP se inauguró con la apertura del Solar de las Miradas, el 21 de junio de 2006, en una ceremonia en la que participaron centenares de personas. Concurrieron autoridades nacionales y provinciales, invitados especiales entre los que se destacaron varios académicos y científicos, más representantes de las fuerzas vivas, clérigos, niños y público en general.

Hicieron uso de la palabra el Gobernador de la Provincia de San Luis, Dr. Alberto Rodríguez Saa y la Rectora de la ULP, Dra. Alicia Bañuelos. Se firmó un acta, se bendijeron las instalaciones y todos los presentes recorrieron el predio.

Un grupo de estudiantes de la carrera de turismo de la ULP, especialmente preparados, guiaron a los visitantes, describiendo y explicando cada uno de los dispositivos del Solar de las Miradas. Este grupo de guías aún continúa en actividad, recibiendo los contingentes que visitan el PALP, tanto particulares, como turistas y grupos escolares de todos los niveles de enseñanza-niveles de enseñanza. A fines del 2006, más de 9.000 personas habían visitado el Solar de las Miradas.



**SUPERIOR.** Un momento del discurso del Dr. A. Rodríguez Saa durante la inauguración. **INFERIOR.** Parte de la comitiva presente en el acto, durante la entonación del Himno Nacional Argentino.



A posteriori, los visitantes participaron de una conferencia de divulgación a cargo del Dr. Hugo Levato y un espectáculo artístico interpretado por cantantes del Teatro Colón de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

**SUPERIOR.** Imagen del Salón Principal de la ULP durante la conferencia de divulgación científica, como parte de los actos de la inauguración del PALP. **MEDIO.** Un grupo de niños y niñas de jardines de infantes de La Punta, participó con atuendos que simbolizaban al Sol y a la Luna. **INFERIOR.** Cantantes del Colón.

## 3.3 Antecedentes y realizadores

*La sabiduría suprema es tener sueños  
bastante grandes, para no perderlos de vista  
mientras se persiguen.*

*William Faulkner (1897-1962)*

El proyecto del Solar de las Miradas deriva directamente de la tarea de investigación de su autor, como profesional de la CIC<sup>6</sup>. Con la dirección del astrónomo Alejandro Feinstein, fue desarrollado desde la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de La Plata.

Su concepción está embebida de diversas experiencias tanto didáctico-astronómicas como artísticas. Entre las primeras, destacamos las siguientes:

- La original, extendida y significativa experiencia educativa del astrónomo argentino Néstor Camino, con docentes de diversas escuelas en la provincia de Chubut (Argentina) y particularmente en su proyecto *Complejo Plaza del Cielo* realizado para la ciudad de Esquel.
- El planteo didáctico y epistemológico que lleva adelante Nicoletta Lanciano, profesora de la Universidad de Roma (Italia).
- La actividad de enseñanza desarrollada desde la Casa Laboratorio de Cenci (Italia) por el profesor Franco Lorenzoni y un equipo de docentes, donde se originó el Gruppo di ricerca sulla pedagogía del cielo, con Marina Tutito, Teodora Tomassetti, Leonarda Fucili y la mencionada Lanciano, entre otros docentes y profesionales de diversas disciplinas y de diferentes partes del mundo.
- Todo el ingenio y dedicación mostrado en los trabajos de los participantes de las Conferencias Internacionales de Enseñanza de la Astronomía, realizadas en Vilanova i la Geltrú (España) y coordinadas por Rosa M<sup>a</sup> Ros, de la Universidad de Catalunya (Barcelona).

*6 - CIC: Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, Ministerio de la Producción, Gobierno de la Provincia de Buenos Aires.*



Un momento de la obra "HT Croquis" de y con Horacio Tignanelli.

- La perspectiva y visión de la popularización de la astronomía que muestra Julieta Fierro, astrónoma y divulgadora destacada de la Universidad Autónoma de México.
- La visión antropológica de la astronomía de Luiz Carlos Jafelice, de la Universidad de Rio Grande do Norte (Natal, Brasil).
- La paciente actividad de enseñanza y difusión de la astronomía llevada adelante por múltiples astrónomos, tanto profesionales como aficionados, del país y del extranjero.

Entre las experiencias artísticas, se destacan:

- La actividad de apoyo a la difusión de las ciencias a través del arte del Centro Teatro de Figure, de Cervia (Italia).
- La actividad de educación por el arte, a través de la literatura y la poesía, de Mirta Colángelo, desde Bahía Blanca (provincia de Buenos Aires).

Finalmente, el autor desea destacar las siguientes experiencias personales que contribuyeron a la realización de esta obra:

- La experiencia denominada "Artes del Cielo", llevada en la ciudad de Mar del Plata (Argentina) en 2002, en la que más de treinta artistas plásticos elaboraron obras<sup>7</sup> basadas en hitos y conceptos astronómicos. Todas sus producciones se reunieron en una instalación, montada en los jardines del Museo Bruzzone, donde permaneció durante tres meses.
- Las diferentes actividades desarrollando experiencias de educación no formal y de educación por el arte, basándose en temas astronómicos, bajo diferentes formatos: literarios (por ejemplo el libro "Quesun: primer diccionario de astronomía para chicos", Colihue, 1991), teatrales (por ejemplo, el proyecto "Pedacito de Cielo" iniciado en 1994 y que continua hasta el presente) y de televisión (por ejemplo, la serie de programas "100 Científicos" (Canal 7, Buenos Aires, 2000) y "Querido Señor Astrónomo" (Canal 13, San Luis, 2007)).
- En particular, destacamos el espectáculo "HT Croquis", cuarta versión del proyecto Pedacito de Cielo, en la que se utilizan instrumentos y dispositivos similares a los que se levantaron en el Solar de las Miradas, pero con una estética y una función netamente dramática. *HT Croquis*, una auténtica lección de astronomía a través del teatro de títeres, se estrenó en Milano (Italia), en 1998 y que hasta la edición de este libro acumula más de 800 presentaciones en escuelas y teatros de Argentina, Brasil, Venezuela e Italia.

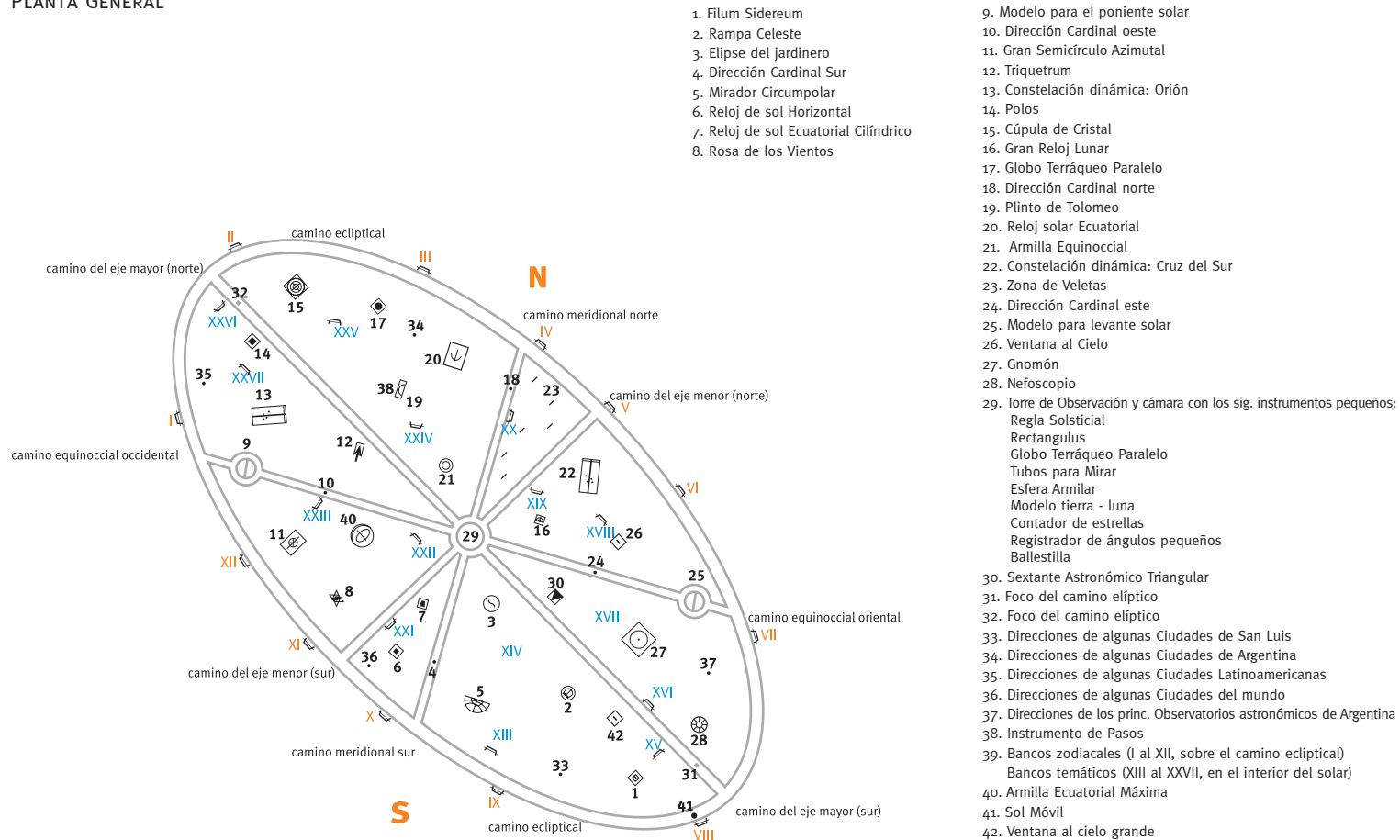
<sup>7</sup> - Cuadros, esculturas (en diferentes materiales: hierro, cerámica, vidrio, etc.), murales, móviles, paisajes, etc.

dispositivos  
dispositivos

# el solar de las miradas

## parque astronómico La Punta

### PLANTA GENERAL

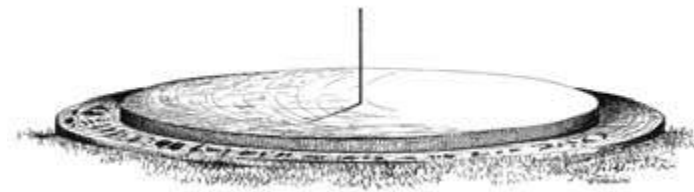


1. Filum Sidereum
2. Rampa Celeste
3. Elipse del jardinero
4. Dirección Cardinal Sur
5. Mirador Circumpolar
6. Reloj de sol Horizontal
7. Reloj de sol Ecuatorial Cilíndrico
8. Rosa de los Vientos

9. Modelo para el poniente solar
10. Dirección Cardinal oeste
11. Gran Semicírculo Azimutal
12. Triquetrum
13. Constelación dinámica: Orión
14. Polos
15. Cúpula de Cristal
16. Gran Reloj Lunar
17. Globo Terráqueo Paralelo
18. Dirección Cardinal norte
19. Plinto de Tolomeo
20. Reloj solar Ecuatorial
21. Armilla Equinoccial
22. Constelación dinámica: Cruz del Sur
23. Zona de Veletas
24. Dirección Cardinal este
25. Modelo para levante solar
26. Ventana al Cielo
27. Gnomón
28. Nefoscopio
29. Torre de Observación y cámara con los sig. instrumentos pequeños:
  - Regla Solsticial
  - Rectangulus
  - Globo Terráqueo Paralelo
  - Tubos para Mirar
  - Esfera Armilar
  - Modelo tierra - luna
  - Contador de estrellas
  - Registrador de ángulos pequeños
  - Ballestilla
30. Sextante Astronómico Triangular
31. Foco del camino elíptico
32. Foco del camino elíptico
33. Direcciones de algunas Ciudades de San Luis
34. Direcciones de algunas Ciudades de Argentina
35. Direcciones de algunas Ciudades Latinoamericanas
36. Direcciones de algunas Ciudades del mundo
37. Direcciones de los princ. Observatorios astronómicos de Argentina
38. Instrumento de Pasos
39. Bancos zodiacales (I al XII, sobre el camino ecliptical)
  - Bancos temáticos (XIII al XXVII, en el interior del solar)
40. Armilla Ecuatorial Máxima
41. Sol Móvil
42. Ventana al cielo grande



gnomón  
gnomón



Es el más simple y a la vez el más antiguo de los instrumentos astronómicos; su uso es el más extendido en varias culturas y épocas.

Existen documentos históricos que certifican el uso del Gnomón en las más antiguas y diversas civilizaciones. Se conoce que fue utilizado por astrónomos chinos, formó parte esencial de la astronomía hindú y hay evidencias de que era ampliamente empleado por los sacerdotes astrónomos de Babilonia y Egipto.

Bajas formas semejantes, el Gnomón se usó en épocas posteriores. Herodoto (484–425 a.C.) narró cómo los griegos lo tomaron de los caldeos, posiblemente a través de Anaximandro (cerca 610–545 a.C.). Un Gnomón fue utilizado por Eratóstenes (276–295 a.C.) para su célebre determinación del radio terrestre. El Gnomón también fue utilizado en Roma y luego entre los astrónomos árabes. Se destaca el uso que le dio Al-Marwazi, (más conocido por Al-Habas).

Se considera al Gnomón como el antecesor de todos los instrumentos astronómicos basados en la proyección de la sombra de un objeto; a pesar de su sencilla estructura, la cantidad de información que puede proporcionar es abundante y significativa.

En su forma más sencilla consta de una varilla de madera o metal, llamada indicador o *estilete*, fijada verticalmente sobre



El Gnomón del Solar de las Miradas

una superficie plana, denominada *plano de registro*, sobre la que se proyecta su sombra producida bajo iluminación solar.

La superficie de registro coincide con uno de los planos paralelos al horizonte, de modo que el estilete representa la vertical del lugar.

Durante todo un día soleado (sin nubes) la posición aparente del Sol, el extremo del estilete y su sombra están alineados; por esta razón, en cualquier instante, las medidas de la longitud y de la dirección de dicha sombra permiten determinar la dirección del Sol.

La información que brinda el Gnomón se expresa en función de dos variables, fácilmente identificables:

- (1) el tamaño de la sombra del estilete, y
- (2) la posición de esa misma sombra sobre el plano de registro, que determina su dirección.

Durante el día, la dirección y el tamaño de la sombra varían de forma lenta, continua y al unísono. En el levante y en el poniente del Sol, la sombra alcanza su mayor longitud y se orienta en direcciones sensiblemente opuestas. El resto del día, durante el trayecto aparente del Sol, la sombra se desplaza gradualmente sobre el plano de registro, describiendo una figura simétrica con forma de abanico.

Esa figura cambia fecha tras fecha, pero conserva constantemente un mismo rasgo característico: en cierto instante, cuando la sombra del estilete es la más corta del día, se orienta siempre en la misma dirección. Esta regularidad, sencilla de observar, proporcionó un par de marcos de referencia fundamentales, uno espacial y otro temporal, para el resto de las mediciones astronómicas:

- La dirección permanente tomada por la sombra más corta en todos y cada uno de los días define una línea que separa,

sobre el horizonte, la zona donde se producen los levantes de la zona donde suceden los ponientes. Esta línea divisoria se denomina “línea meridiana” o simplemente *meridiana*, y las zonas que divide se conocen como oriente y occidente, respectivamente. Allí donde la meridiana intersecta a la esfera celeste, sobre el plano del horizonte, se hallan dos puntos cardinales: el Norte y el Sur, por lo que la meridiana suele llamarse también línea *norte-sur*; con ella, por lo tanto, se determinan también los otros puntos cardinales (Este y Oeste) ubicados en los extremos de una recta perpendicular a la meridiana que pasa por el observador (el centro del Gnomón).

- Cuando la sombra del indicador o *estilete* es la más corta del día, define un instante de referencia temporal: el *mediodía del lugar*. Con ese dato, al registrar el intervalo temporal entre dos mediodías consecutivos, se define una unidad de tiempo fundamental tanto en la astronomía como en la vida cotidiana: *el día solar*.

Así, desde su levante hasta la culminación del Sol, las sombras del estilete se mueven en la zona occidental del plano de registro; análogamente, desde su culminación hasta su poniente, las sombras lo hacen en la zona oriental. En el instante de la culminación solar, la sombra del estilete es la más pequeña de la fecha y se ubica exactamente sobre la meridiana; en otras palabras, a mediodía, se provocan las sombras más cortas de los objetos iluminados por el Sol.

Por otra parte,

- a - si se prolonga la dirección del estilete, en su intersección con la esfera celeste, define la posición de un importante punto de referencia celeste: *el cenit*.
- b - al plano vertical que contiene al cenit y a la línea meridiana se lo denomina *meridiano del lugar*.

Los puntos cardinales y las unidades de tiempo definidas por el movimiento diario del Sol proporcionan una base para describir las variaciones que de dicho movimiento de un día para otro.

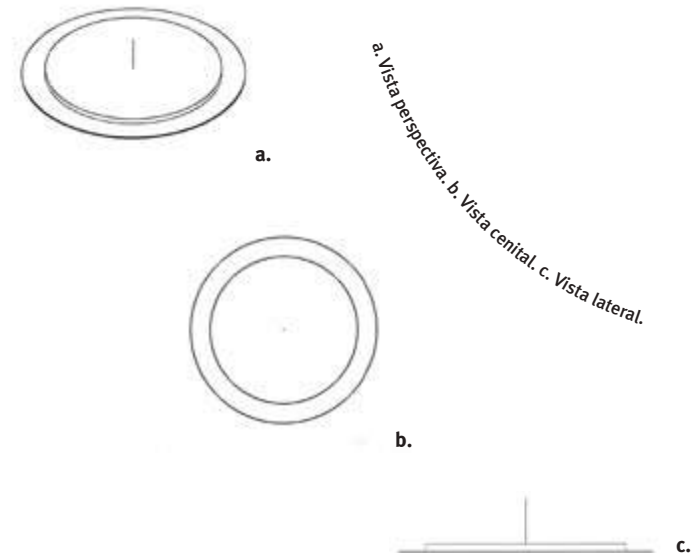
En otras palabras, el levante solar se produce siempre en la zona oriental del horizonte y su poniente en la zona occidental, pero la posición precisa de ese levante y poniente, la longitud de la sombra del estilete en su *culminación* (mediodía) y el número de horas de luz varían de un día para otro a lo largo del año.

Estas variaciones de la posición del Sol al levantarse y ponerse sobre la línea del horizonte, se corresponden con el ciclo de las estaciones. Al registrar el movimiento diario solar durante todos los días del año, se comprueba que sus sucesivas culminaciones se producen a diferentes alturas sobre el horizonte.

Por lo tanto, en el Gnomón se registra que en un único mediodía se produce la máxima longitud de la sombra del estilete, entre todas las que se observan en el año; esto sucede cuando el Sol alcanza la mínima altura en su culminación; esa fecha se conoce como *solsticio de invierno*<sup>1</sup>.

Análogamente en el mediodía de una única fecha en el año se produce la mínima longitud de la sombra del estilete, entre todas las que se observan en el año. Esto sucede cuando el Sol alcanza la máxima altura en su culminación; esa fecha se conoce como *solsticio de verano*<sup>2</sup>.

Finalmente, existen dos fechas en las que la longitud de la sombra del estilete es la misma al mediodía, es decir, el Sol culmina exactamente a la misma altura sobre el horizonte; esas fechas se conocen como *equinoccios*.



1 - En el hemisferio terrestre sur se produce alrededor del 21 de junio. En el norte, cerca del 21 de diciembre.

2 - En el hemisferio terrestre sur se produce alrededor del 21 de diciembre. En el norte, cerca del 21 de junio.

3 - En otras palabras, el lapso en que se repite el equinoccio de otoño o el de primavera.

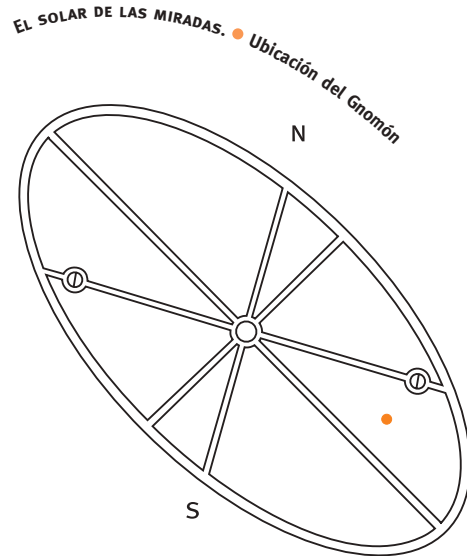
El intervalo entre dos equinoccios homólogos consecutivos<sup>3</sup>, es decir la duración del ciclo de las estaciones, define la unidad básica del calendario: el *año*, de la misma manera que el *día* queda definido por el movimiento diario del Sol.

Con las observaciones sistemáticas de la sombra del estilete, es posible cuantificar un gran número de conocimientos sobre la variación de la posición del Sol, tanto diaria como anual; finalmente, fueron esas observaciones las que convirtieron luego al Gnomón en un reloj y un calendario.

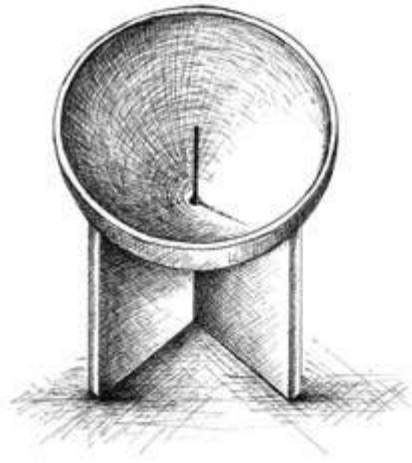
El éxito de este instrumento reside en que, aunque la información que brinda implica una interpretación compleja ya que requiere combinar dos variables, el gnomón tiene la ventaja fundamental que su estructura puede adquirir dimensiones considerables, algo que permite alcanzar gran precisión en las mediciones.

El Gnomón que hemos montado en el Solar de las Miradas consta de una superficie de registro de 300cm de diámetro, inscrita en una base cuadrada de 320cm, ambas de cemento armado.

El estilete es una vara de acero de aproximadamente 4mm de diámetro y 100cm de altura. Todos los materiales fueron tratados especialmente para soportar la intemperie.



polos  
polos



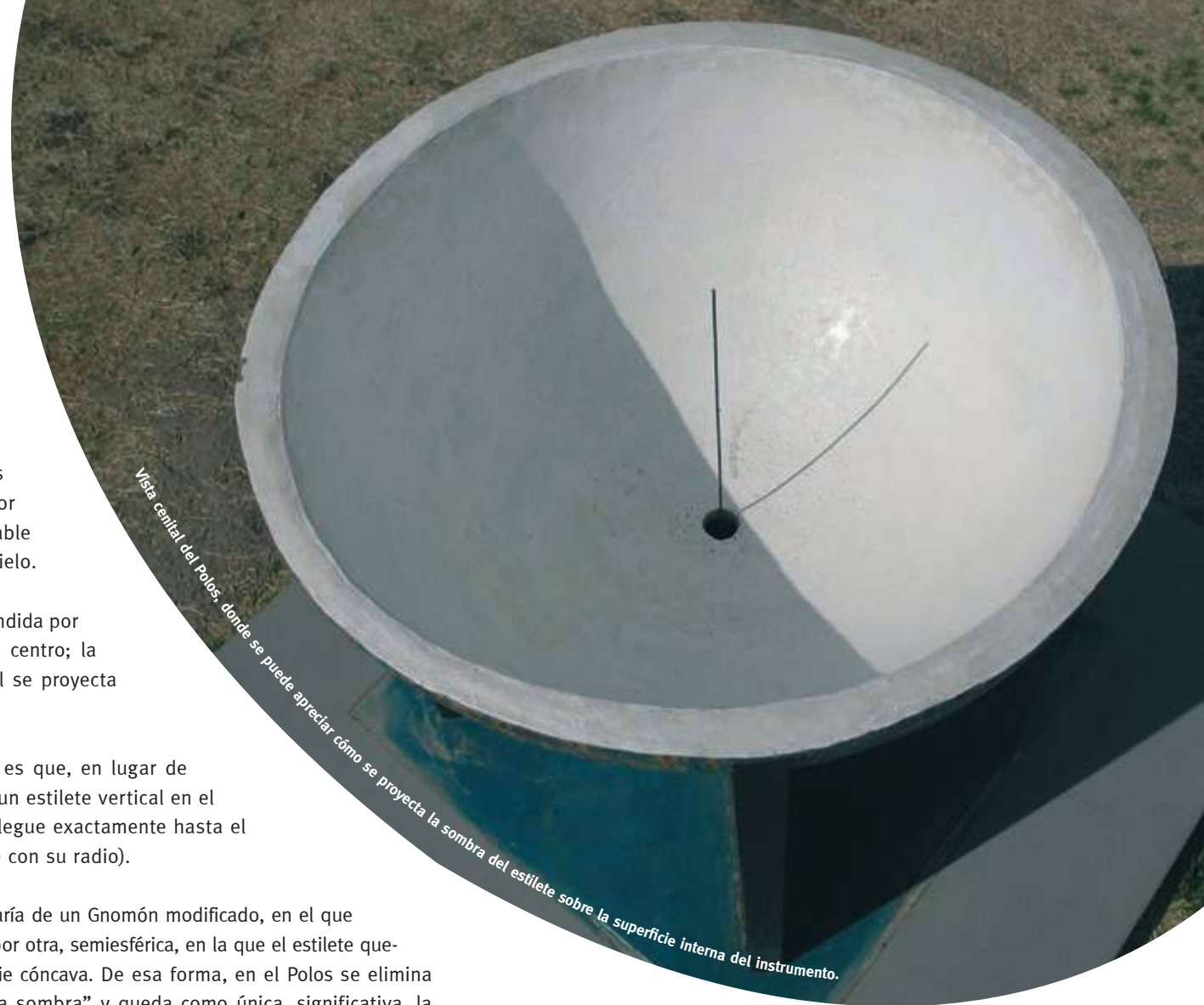
Existe cierto consenso en que este instrumento tiene origen mesopotámico. Presumiblemente desarrollado primero por los caldeos, se conjetura que pasó a Grecia a través de los babilónicos<sup>1</sup>.

Según los antiguos registros, en sus comienzos fue un dispositivo constituido por una semiesfera hueca de diámetro considerable cuya concavidad estaba orientada hacia el cielo.

Una esfera pequeña era mantenida suspendida por encima de dicha semiesfera, justo sobre su centro; la sombra de esa esferita producida por el Sol se proyecta sobre la superficie cóncava del instrumento.

Una variación de la estructura original es que, en lugar de la pequeña esfera suspendida, se coloca un estilete vertical en el fondo de la semiesfera, de modo que llegue exactamente hasta el centro de la misma (es decir, coincide con su radio).

De este modo, el Polos se trataría de un Gnomón modificado, en el que la superficie plana se sustituye por otra, semiesférica, en la que el estilete queda en el centro de la superficie cóncava. De esa forma, en el Polos se elimina la variable “longitud de la sombra” y queda como única, significativa, la posición de la sombra del extremo del indicador, visible en la superficie interior de la semiesfera.

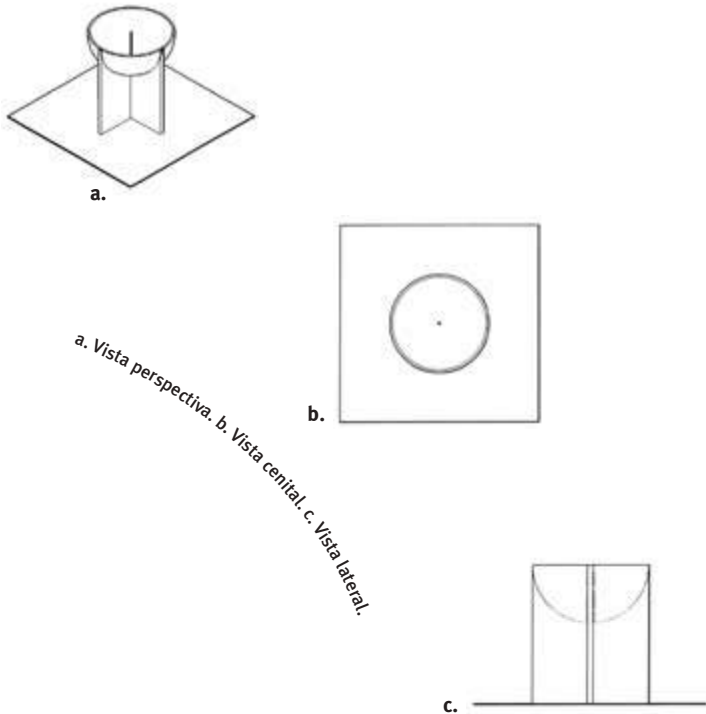


<sup>1</sup> - Algunos historiadores sugieren que el polos es el instrumento que da origen a las armillas, esferas armilares y al reloj de Sol ecuatorial, desarrollados luego por los astrónomos griegos.

2 - Cada punto puede señalarse mediante una marca a intervalos regulares de tiempo.

3 - En el Solar de las Miradas, se traza el movimiento solar en la eclíptica con una escultura que representa al Sol (llamada Sol Móvil). Se la ubica sobre el Camino Eclíptico, en la zona de dominio de cada uno de los Bancos Zodiacales.

4 - En el hemisferio sur, la fecha en que el Sol está más bajo sobre el horizonte, se produce cerca del 21 de junio. Cuando está más alto sobre, cerca del 21 de diciembre. Las fechas y alturas se invierten en el hemisferio norte de la Tierra.



La semiesfera cóncava del Polos puede considerarse como una representación *invertida* de la esfera celeste. De esta manera, con el Polos es posible materializar el arco diurno del Sol, de forma contrapuesta. En cualquier fecha, bajo iluminación solar, la sombra del extremo de su estilete describirá una curva sobre la superficie interna de la semiesfera<sup>2</sup>, simétrica de la que describe el Sol en el cielo, desde su orto a su ocaso.

El movimiento del Sol puede dibujarse con considerable precisión sobre el fondo del polos, lo que hace posible identificar de modo sencillo, las fechas de equinoccios y solsticios, como así estimar el ángulo de inclinación de la eclíptica. En otras palabras, la posibilidad de grabar el camino del Sol en el Polos, fecha tras fecha, puede ser aprovechada para visualizar los acontecimientos originados por el movimiento solar aparente, reflejo del que la Tierra realiza en su traslación.

Si se registra la posición de la sombra del extremo del estilete durante un día y se repite tal operación periódicamente, por ejemplo con varios días de intervalo, se percibe que dicha sombra traza curvas distintas sobre la superficie del Polos, que coinciden con arcos celestes paralelos, simétricos de los que el Sol recorre durante el tiempo en que se han realizado los registros. Este instrumento hace evidente que el Sol, a diferencia de las estrellas fijas que siempre recorren el mismo paralelo, tiene otro movimiento sobre la esfera celeste: se trata del movimiento anual del Sol por la eclíptica<sup>3</sup>, reflejo de la trayectoria real de la Tierra a su alrededor (traslación).

Si la observación se prolonga durante un año, la curva descrita por la sombra oscila entre una altura máxima y una altura mínima<sup>4</sup>.



5 - La duración del día aumentará desde el solsticio de invierno hasta el solsticio de verano. En las fechas de los equinoccios la duración del día es igual a la de la noche. Análogamente, la duración del día disminuye desde el solsticio de verano al de invierno.

6 - Una hora o media hora.

7 - O sea la superficie del polos, ya que el indicador coincide con el radio del polos.

Usando nuestro calendario, al tomar el 21 de diciembre como referencia, se aprecia que la sombra del extremo del estilete se desplaza de forma tal que hacia el 21 de marzo, coincide con el ecuador celeste. Luego seguirá desplazándose en la misma dirección hasta el 21 de junio y, a continuación, cambia de dirección, y lo vuelve a atravesar hacia el 21 de septiembre. Finalmente, llega al mismo punto el 21 de diciembre, fecha cuando vuelve a repetirse el ciclo.

De este modo, con un Polos es posible determinar, de modo aproximado, las fechas en que el Sol se encuentra más alto y más bajo (los solsticios de verano y de invierno, respectivamente) y las fechas en que el Sol atraviesa el ecuador celeste (equinoccios de otoño y primavera).

Con esa variación puede observarse además la variación en la duración del día<sup>5</sup>, es decir, del tiempo que demora el Sol en cumplir su arco diurno sobre del horizonte. Puede hacerse, por ejemplo, marcando el lugar de la sombra a intervalos regulares<sup>6</sup>, que quedarán representados por arcos iguales debido al movimiento solar, reflejo de la rotación de la Tierra alrededor de su eje.

Con este instrumento puede calcularse también la oblicuidad de la eclíptica, es decir, el ángulo de inclinación del eje de rotación

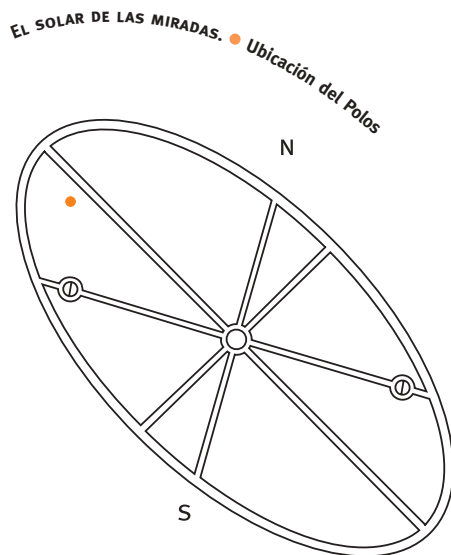
terrestre. Se determina directamente midiendo el ángulo que desde el extremo del estilete<sup>7</sup> subtienden el punto más bajo de las curvas que traza el Sol en los solsticios, en el momento en que se encuentran estos puntos sobre el meridiano del lugar. Su medida dará aproximadamente  $47^\circ$ , con lo que se obtiene un ángulo de  $23^\circ 30'$  como valor de esa oblicuidad.

Por último, con el Polos también se puede determinar la dirección del meridiano del lugar y la latitud del lugar de observación.

El meridiano se sitúa aproximadamente en la línea que une los puntos inferiores de las curvas diarias trazadas por la sombra, y la latitud se obtiene midiendo el ángulo que en el equinoccio forma la sombra en el meridiano con el pie del indicador, o bien, midiendo ese ángulo la fecha de los solsticios y restando o sumando los  $23^\circ 30'$  de la oblicuidad de la eclíptica.



Visión externa del Polos del Solar de las Miradas.



Los errores en la determinación de fechas y direcciones con el Polos dependen drásticamente del tamaño del instrumento y también en el hecho que solsticios y equinoccios no se producen justo al mediodía.

El Polos permitió además, contar con un reloj durante la noche. Para ello se le acoplaba un armazón esférico que representaba la zona del Zodíaco con sus doce constelaciones y la división en  $360^\circ$  semejante a los aros de una *esfera armilar*. Para usarlo como reloj era preciso conocer la constelación (y la posición en grados sexagesimales) por el que se había puesto el Sol.

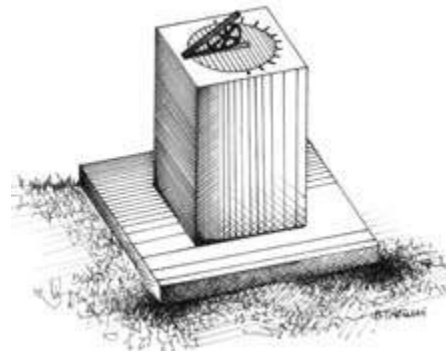
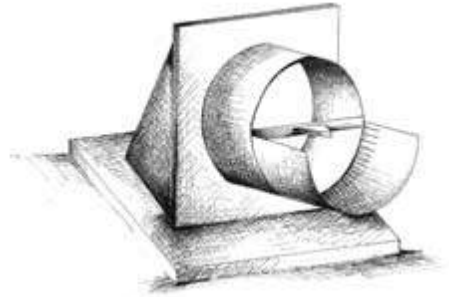
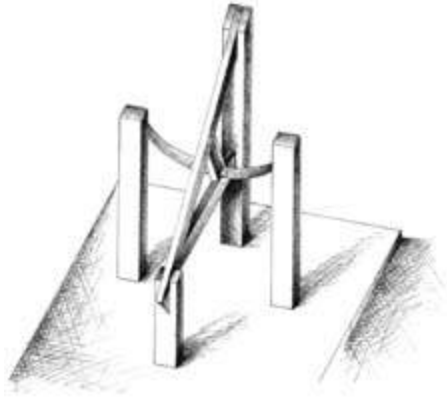
A cualquier hora de la noche se podía adaptar esa esfera zodiacal de manera que las constelaciones ocupasen en ella la misma posición que adoptaban en el cielo nocturno. Como había que girarlo para asegurar esta adaptación, la posición ocupada por el Sol en el ocaso tenía que desplazarse a lo largo de las líneas de las horas marcadas en el instrumento, del mismo modo que la sombra del estilete lo hacía durante el día. Así, de la misma manera en que se hacía de día a partir del Sol, durante la noche se podía leer la hora a partir de las estrellas.

El Polos que montamos en el Solar de las Miradas consta de una semiesfera de cemento de 100cm de diámetro con un estilete de acero de aproximadamente 0,4cm de diámetro y 50cm de altura, fijado a su centro y coincidente con la vertical del lugar (materializa un radio de esa semiesfera).

La semiesfera de este Polos está sostenida por un pie ornamental de acero laminado, con el cual el borde circular del instrumento alcanza 20cm de altura sobre la base.

Todos los materiales fueron tratados especialmente para soportar la intemperie.

# relojes de sol



*Ambiguus alis labilis hora volat  
(La hora vuela lábil con alas inciertas)<sup>1</sup>*

Los relojes solares, también llamados cuadrantes solares, son instrumentos cuyo origen debe buscarse en las civilizaciones más antiguas, como por ejemplo, la sumeria.

Una de las descripciones más antiguas de un reloj de Sol se remonta al año 1300 a.C., y fue hallada en la tumba de Men-Maat-Ra Sethy, hijo del faraón Ramsés I. Como se comprueba en textos astronómicos del 1200 a.C., también entre los antiguos chinos se conocían y usaban relojes solares.

En la Grecia antigua, también se utilizaron relojes de Sol. En particular, el primero en analizar el desplazamiento de las sombras producidas por el Sol para fraccionar el período diurno, fue Anaxímenes, hacia el 520 a.C. En Roma, uno de los relojes de Sol más antiguos que se tiene referencia se montó en el 293 a.C. en un templo dedicado al dios Júpiter. Siglos después, a fines del I a.C., el romano Vitruvio escribe un tratado en el que dedica varios capítulos a describir un método geométrico para diseñar ese tipo de relojes.

Ya en la era cristiana, durante el siglo I, se publican estudios sobre los relojes solares que coinciden en señalar dos parámetros fundamentales que deben tenerse en cuenta para su construcción:

- La posición del observador, es decir, su latitud geográfica, que entonces se determinaba observando la duración del día y la longitud de la sombra del Gnomón en las fechas de los equinoccios.
- La oblicuidad de la eclíptica, una medida angular que no depende de la ubicación geográfica del observador y de la que se suponía que era una constante (suposición errónea, como se comprobó después). Eudemus de Rodas (320 a.C.) fue el primero en deducir que la eclíptica estaba inclinada con respecto al ecuador en un cierto ángulo, aunque no estimó su valor. Posteriormente se determinó un valor de  $1/15$  de la circunferencia (valor dado, por ejemplo, por el mencionado Vitrubio). Más tarde, Hiparco adoptó un valor mejor:  $11/83$  partes de una semicircunferencia.

*1 - Las frases que aparecen en cada parte de esta sección corresponden a diferentes relojes de Sol de la Antigüedad. Es una tradición incluir en estos artefactos una frase referida al tiempo o de carácter filosófico. Las frases que incluimos aquí fueron recopiladas por D. Rafael Soler Gayà en su libro "Diseño y construcción de Relojes de Sol y de Luna" (2ª edición, 1997), la mayoría de las cuales pueden hallarse en la página [www.bernisol.com/leyendas.htm](http://www.bernisol.com/leyendas.htm).*



**SUPERIOR.** Reloj Solar Ecuatorial. **MEDIO.** Reloj Solar Horizontal. **INFERIOR.** Reloj Solar Cilíndrico.

Los relojes árabes de la época medieval eran, en su gran mayoría, relojes de Sol horizontales, a los que se denominaba *al-basit* (superficie plana) y se construían en mármol o en placas de cobre. Todos tenían una indicación precisa que permitía identificar la dirección de la Kaaba<sup>2</sup>, el santuario sagrado de la Meca, debido al precepto religioso musulmán de orar siempre con el rostro dirigido a ese sitio. Por esta razón, los relojes de Sol árabes poseían trazas destinadas a los rezos diarios.

En España, hacia el año 1000 se emplea por primera vez un reloj de Sol denominado *quadrans vetus cum cursorem*, cuyo inventor se desconoce; este tipo de artefacto será uno de los primeros instrumentos de navegación empleados por Cristóbal Colón.

Cerca del año 1026 se publica uno de los primeros tratados sobre instrumentos de observación astronómica denominado “De mensura astrolabii liber” del matemático alemán Ermanno Contratto (1013-1054), quien traduce textos del árabe y conserva ese idioma en gran parte de la terminología utilizada. Poco después, en España, un grupo de astrónomos árabes, cristianos, griegos y hebreos convocados por el rey Alfonso X (1224-1284), en Toledo, traduce al latín gran parte de las obras escritas en árabe, entre las que se hallaron descripciones sobre la construcción y uso de diferentes relojes de Sol.

La estructura básica de un reloj solar es la de un Gnomón, en cuya superficie de registro se haya grabada una escala con forma de abanico (también denominado cuadrante solar) que permite identificar diferentes intervalos de tiempo, a medida que la sombra del estilete, producida por el Sol, “barre” dicha escala durante el movimiento aparente solar.

Hay diferentes modelos de relojes de Sol. En particular, en el Solar de las Miradas hemos montado un ejemplar de reloj de Sol de los tipos ecuatorial, horizontal y cilíndrico.

<sup>2</sup> - Esa dirección se denomina Al-Qibla.

# reloj solar ecuatorial

*Cernis qua vivis, qua moriere latet*  
*[Distingues en qué hora vives, está oculto en qué hora morirás]*

Todos los relojes solares se basan en la regularidad del movimiento del Sol durante su trayecto diurno, reflejo del movimiento de rotación de la Tierra.

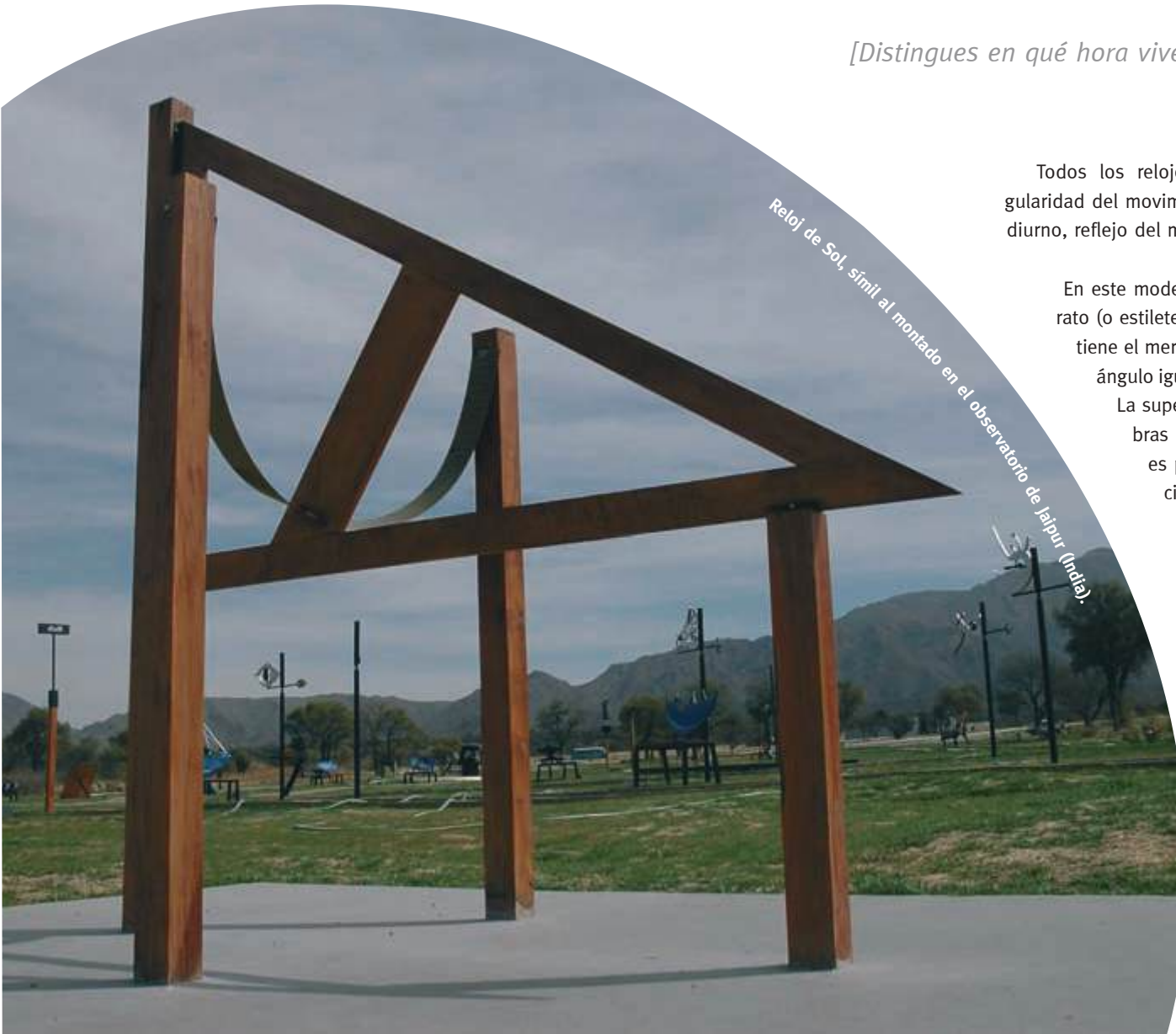
En este modelo de reloj de Sol, el indicador del aparato (o estilete) se ubica paralelo al eje del mundo, contiene el meridiano del lugar y forma con el horizonte un ángulo igual a la latitud del sitio donde está emplazado.

La superficie de registro, donde se proyectan las sombras es plana y perpendicular al indicador, por tanto es paralela al ecuador celeste, de ahí la denominación de este tipo de relojes solares.

Para determinar la dirección del plano del meridiano del lugar, de modo de ubicar el estilete del reloj, se determinaba primero la línea meridiana o dirección norte-sur. La meridiana, además, coincide también con la sombra que produce el estilete en el momento del paso del Sol por el meridiano del lugar.

La determinación del cuadrante, es decir, el trazado de las líneas horarias, se realiza dibujando un círculo con el

Reloj de Sol, similar al montado en el observatorio de Jaipur. (India).



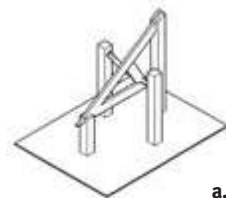
centro en el polo del cuadrante y se lo divide en 24 partes de  $15^\circ$  cada una; posteriormente se trazan los 24 radios correspondientes a la división anterior.

De todos ellos, el radio que coincide con la intersección del plano correspondiente al meridiano del lugar con el plano del cuadrante y que se dirige hacia el horizonte es la recta horaria de las 12h. Las líneas horarias dibujadas al oeste señalan las horas antes de que ocurra el mediodía (es decir, antes que el Sol alcance su altura máxima en la fecha) y, después del mediodía, las líneas ubicadas al este. Las líneas que determinan las horas 6 y 18, corresponden a la dirección este-oeste.

En el Solar de las Miradas montamos un singular modelo de este tipo; se trata de la recreación de uno de los relojes de Sol del observatorio astronómico de Jaipur, en la India<sup>3</sup>. Ese observatorio, también operado a ojo desnudo, fue diseñado y mandado a construir por el maharajá Jai Singh II. Contiene diferentes complejos instrumentales, uno de los cuales está inacabado; algunos necesitan la luz solar y otros funcionan con el reflejo de la luz lunar y estelar. Los instrumentos monumentales de Jaipur dan una medida precisa del tiempo, la declinación solar, el acimut, la localización de las constelaciones a la luz del día, los eclipses y otros fenómenos celestes. Cuando no se podían usar los relojes solares debido a la lluvia o al cielo cubierto, se empleaba la *clepsidra* (o reloj de agua) para medir el tiempo.

La escala temporal de todos los instrumentos se hizo en su momento en las antiguas unidades ghatikas, palas y vipalas, pero en la restauración de 1901 se convirtió a horas, minutos y segundos.

Todos los postes de madera semidura (anchico) son cuadrados de 10cm de lado; el mayor tiene una altura de 240cm, el menor es de 90cm y los dos postes laterales a la escuadra son de 170cm de altura.



a.



b.



c.

a. Vista perspectiva. b. Vista frontal. c. Vista lateral.

*3 - El buen estado de conservación del observatorio se debe primeramente a Chandra Dhar Sharma Guleril, quien lo restauró en 1901. Hoy día está bajo la supervisión del Departamento de Arqueología y Museos del estado de Rajasthan. Se encargan de su conservación un supervisor y una cuadrilla de mantenimiento.*

# reloj solar horizontal

*Horas non numero nisi serenas  
(No cuento las horas si no son serenas)*

En este modelo, la superficie de registro es un plano paralelo al horizonte y el indicador (estilete) se halla inclinado un ángulo igual a la latitud del lugar y está contenido en el plano meridiano del lugar.

Las líneas horarias del cuadrante de un reloj solar, modelo horizontal, se obtienen mediante la proyección ortogonal oblicua de las líneas horarias de un reloj ecuatorial sobre un plano horizontal.

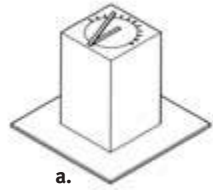
En el reloj solar horizontal que montamos en el Solar de las Miradas, la altura del poste vertical es de 75cm, la superficie de registro es de 50cm por 50cm, con 5cm de espesor, y el estilete, esculpido en acero, tiene 30cm de largo por 18cm de alto.

Reloj de Sol Horizontal del Solar de las Miradas.

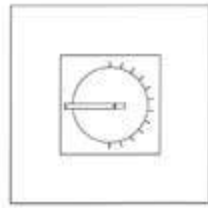




La sombra del estilete del reloj solar horizontal cerca del instante del mediodía solar verdadero.

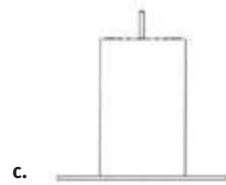


a.

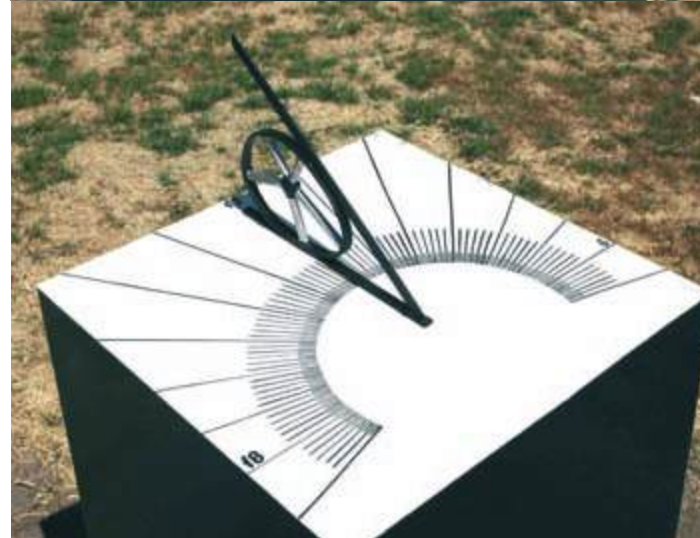


b.

a. Vista perspectiva. b. Vista cenital. c. Vista lateral.



c.

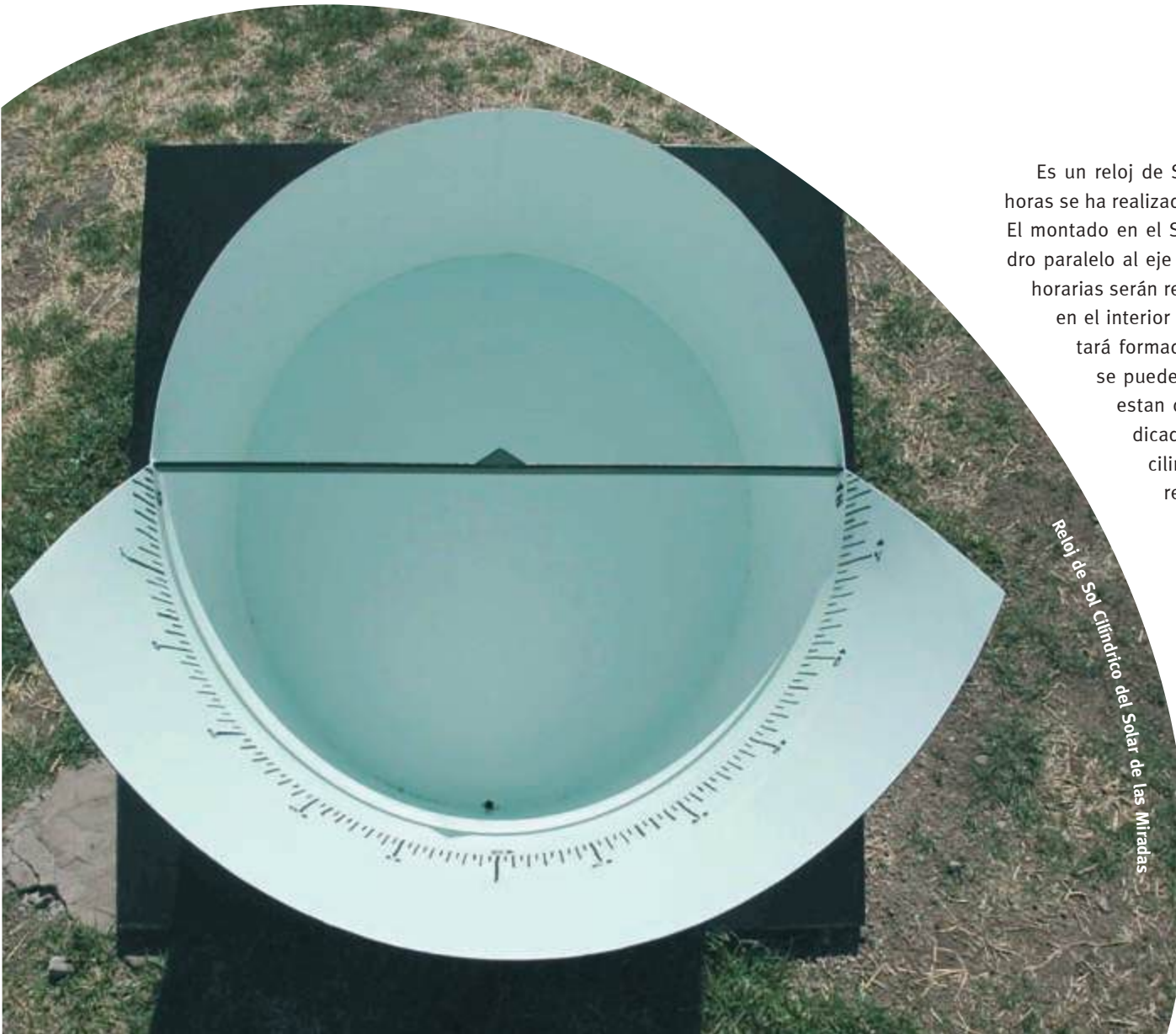


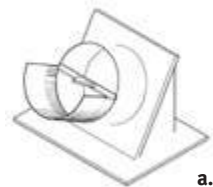
# reloj solar cilíndrico

*Brevis aetas, vita fugax*  
*[El tiempo es corto, la vida fugaz]*

Es un reloj de Sol en el cual el trazado de las horas se ha realizado sobre una superficie cilíndrica. El montado en el Solar de las Miradas, tiene el cilindro paralelo al eje de la Tierra. En este caso las líneas horarias serán rectas paralelas y pueden estar inscritas en el interior del cilindro en cuyo caso el Gnomón estará formado por el mismo eje del cilindro. También se puede construir de modo que las líneas horarias están dibujadas en el exterior cuya hora estará indicada por la misma línea de sombra del propio cilindro. Se acepta comúnmente que este tipo de relojes son ecuatoriales.

Reloj de Sol Cilíndrico del Solar de las Miradas

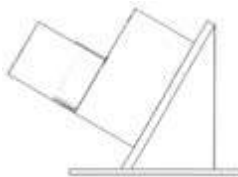




a.



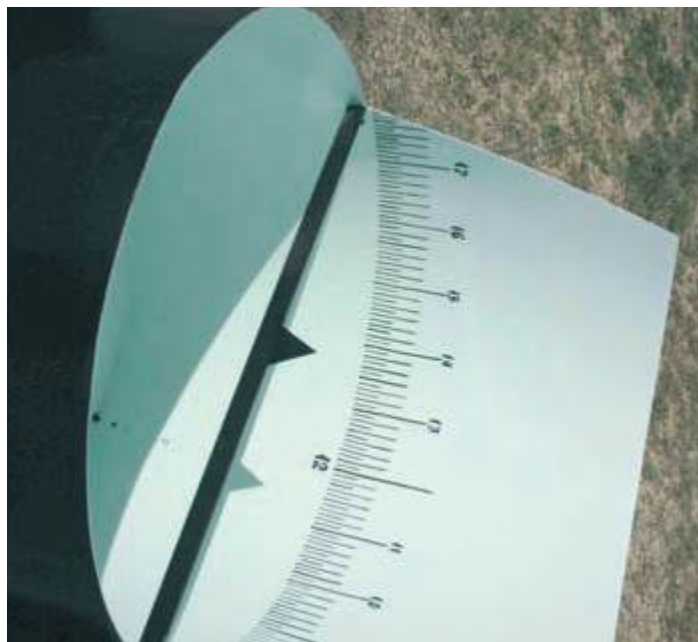
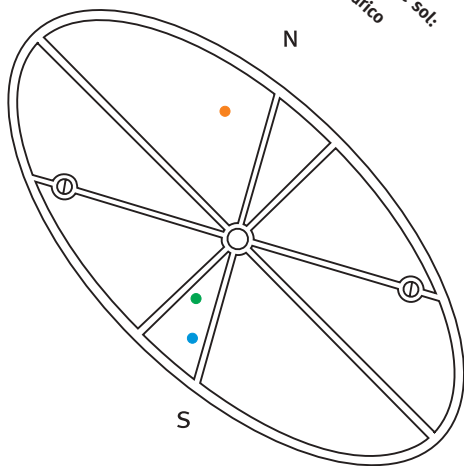
b.



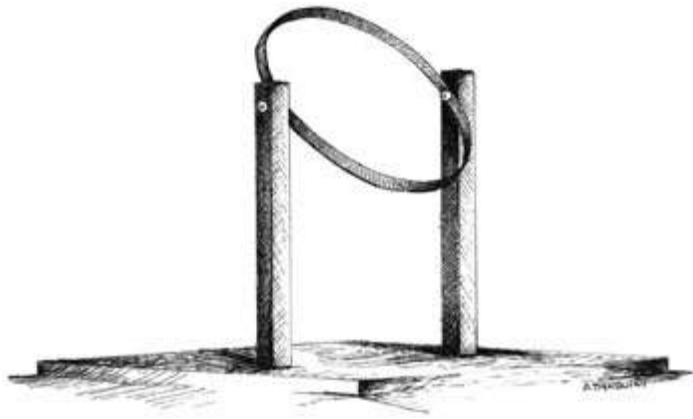
c.

a. Vista perspectiva. b. Vista frontal. c. Vista lateral.

EL SOLAR DE LAS MIRADAS. Ubicación de los Relojes de sol:  
 ● Ecuatorial ● Horizontal ● Ecuatorial cilíndrico



armilla equinoccial



En las culturas antiguas las observaciones equinociales<sup>1</sup> fueron muy importantes por motivos rituales y también para obtener datos que permitían la construcción del calendario.

Uno de los instrumentos usados en esas observaciones fue un ingenioso artefacto, cuya lectura también se subordina a la proyección de sombras, denominado Armilla Equinoccial, o Armilla Ecuatorial. La palabra *armilla* procede del latín y significa brazaletes; se usaba como sinónimo de aro.

En Alejandría, así como en varias ciudades del Imperio Romano, hubo una Armilla Equinoccial en su plaza principal.

La Armilla Equinoccial consiste de un anillo metálico<sup>2</sup>, sin graduación alguna, fijado rígidamente a una base o a postes laterales, e instalado de modo que el círculo que define ese anillo coincida con el plano del ecuador celeste.

Así dispuesto, el plano del anillo forma un ángulo con respecto al plano horizontal igual al complemento de la latitud del lugar (esto es,  $90^\circ$  menos el valor de la latitud).

Montado de este modo, pueden diferenciarse dos partes sobre el anillo: una por encima del horizonte (o limbo superior) y otra por debajo (limbo inferior).



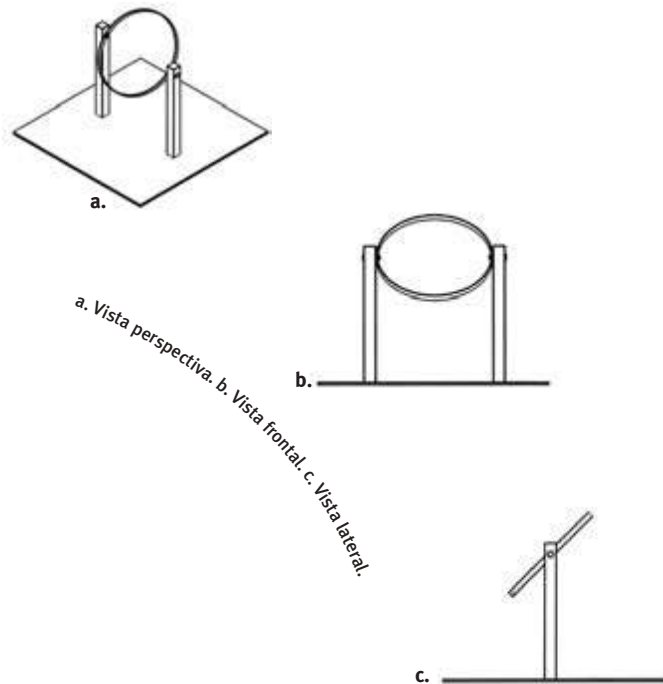
*Armilla Equinoccial del Solar de las Miradas*

*1 - Es decir, observaciones realizadas en las fechas de los equinoccios.*

*2 - Aparentemente, el instrumento que describe Tolomeo era de bronce.*

Durante su movimiento aparente, el Sol ilumina el anillo de la Armilla Equinoccial. Cuando se desplaza al norte o al sur del ecuador celeste, la sombra del limbo superior proyectada sobre el limbo inferior no alcanza a cubrirlo, o ni siquiera se posa sobre él.

Pero en las fechas de los equinoccios, cuando el arco diurno del Sol coincide con el ecuador celeste, la sombra del limbo superior se proyecta exactamente sobre la superficie interna del limbo inferior del anillo.



Esta circunstancia, que sucede regularmente cada seis meses, fue detectada y aprovechada por los antiguos astrónomos para determinar el instante exacto del equinoccio y, con el mismo, establecer la fecha y construir o ajustar sus calendarios.

La Armilla Equinoccial que montamos en el Solar de las Miradas se construyó usando una lámina de acero de 6mm de espesor, con la que se dio forma a un aro cilindrado de 2,5cm de alto y 100cm de diámetro.

Para montar ese aro se usaron dos postes de madera dura (quebracho colorado) de 120cm de altura, ubicados en forma perpendicular a una base de cemento armado, perfectamente nivelada.

El aro se ajustó a 110cm del nivel, es decir, a 10cm del límite superior de cada poste. Luego, se ensambló el aro a los postes con herrajes que permiten un suave movimiento de giro, útil para su ajuste y eventual reposicionamiento.

Su arreglo preliminar con el ecuador celeste se realizó mediante una escuadra especialmente construida, uno de cuyos ángulos agudos es igual a la latitud del predio donde se levanta el Solar de las Miradas. El ajuste final se realizó observando la sombra del aro en las fechas de equinoccios.

Por último, todos los materiales de la armilla fueron tratados especialmente para soportar la intemperie.

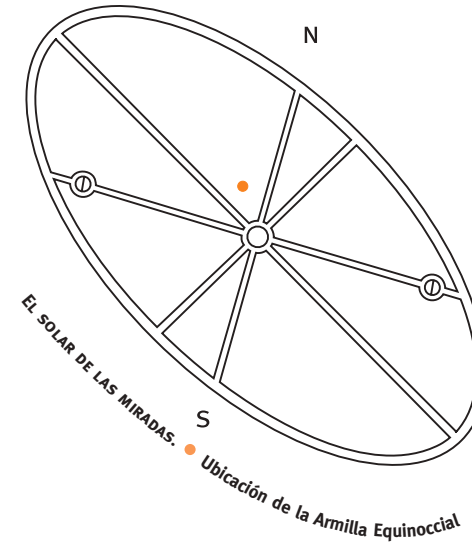
#### Apuntes del Almagesto

En su tratado "Almagesto", Claudio Tolomeo describe la Armilla Equinoccial instalada en Alejandría y señala que Hiparco la usó para determinar la fecha de los equinoccios. Además, comenta que en su época ese instrumento ya no era fiable a causa de las imperfecciones de su forma y de los corrimientos sufridos respecto de su emplazamiento original.

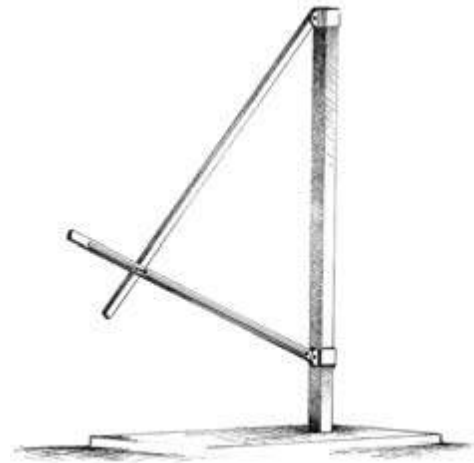
Es decir, señala que la precisión de la Armilla Equinoccial depende drásticamente de que su anillo no se deforme y de la exactitud de su montaje en el plano del ecuador celeste.

Tolomeo advierte también que el anillo debe construirse tan grande como se pueda. Al respecto, Teone indicó que debía ser una circunferencia cuyo diámetro fuese, al menos, de 2 codos (entonces un codo era una unidad que representaba una longitud entre 45 y 55 centímetros.)

Por último, Tolomeo señala que un error de observación de solamente seis minutos de arco ( $6'$ ), que corresponde a un movimiento de la sombra de 1,5mm aproximadamente en un instrumento de dos codos de diámetro (aproximadamente un metro), origina un error cerca de 15 minutos de arco ( $15'$ ) en la medición de la longitud eclíptica del Sol. Esto implica un error de 6 horas en la determinación de la fecha en que ocurre el equinoccio.



triquetrum  
triquetrum





Denominado *regla de Tolomeo* y también *instrumento paraláctico*, el Triquetrum probablemente sea uno de los más útiles de los instrumentos utilizados en la escuela de Alejandría y el único que fue adoptado por diversos astrónomos en épocas sucesivas.

En sus observaciones, el astrónomo Nicolás Copérnico (1473–1543) usó un triquetrum de 2,5m de altura, que luego fue transferido al danés Tycho Brahe, quien lo conservó en el castillo Uraniburg, en la isla de Hven, como una auténtica reliquia astronómica.

Tal como Tolomeo lo describe en el *Almagesto*, el Triquetrum era utilizado fundamentalmente para determinar la distancia cenital de la Luna en el instante de su paso por el meridiano del lugar, aunque luego se lo empleó también para medir el pasaje de las estrellas fijas por el meridiano.

Sus piezas principales son una vara de sostén, una alidada y una vara secundaria. Estas piezas conforman los tres mástiles a las que alude el nombre Triquetrum.

#### Vara principal o de sostén

Se trata de un listón vertical de al menos 4 codos de alto (algo más de 2m) que además define la base del instrumento. Como en otros artefactos astronómicos, se usaba el hilo de la plomada para asegurar que la vara principal se ubicase exactamente en la dirección vertical.



El observador sostenía la vara con la mano para apuntar al astro.

## Alidada

En la parte superior de la vara principal se coloca un listón plano llamado *alidada*, con una aleta en su extremo inferior y una placa perpendicular en el superior; en esa placa se perfora un agujero circular.

## Vara secundaria

En el pie de la vara principal se dispone una varilla de madera que articula también con la alidada en uno de sus extremos a una distancia igual a la longitud de dicha alidada. Esta vara, secundaria, se desplaza libremente a través de un orificio hecho en el cuerpo de la alidada.

Mediante este dispositivo, se consigue que las tres varas formen un triángulo isósceles de abertura variable.

Una especie de marcador o índice se coloca cerca del extremo libre de la alidada, de modo que la distancia desde el marcador al perno de sujeción sea exactamente igual a la distancia entre los pernos superior e inferior de la vara principal.

Las lecturas se efectúan observando el astro a través de la aleta de la alidada, apuntándolo a través del agujero de la placa superior, y luego identificando y marcando la posición del índice a lo largo de la varilla secundaria.

La distancia entre la varilla y su perno, hasta la marca hecha en la observación, materializa la medida de la cuerda del ángulo que forma la alidada y la vara principal. Luego, la medida del ángulo correspondiente a esa cuerda se obtiene consultando una tabla con valores de las cuerdas para diferentes ángulos, por ejemplo, en un libro de geometría.

*1 - Tomando la alidada como un radio constante, puede conocerse el ángulo que corresponde a la cuerda formada cuando la alidada apunta al astro cuya altura se quiere medir.*

Es decir, junto al Triquetrum se disponía de una tabla con valores de las cuerdas en función del ángulo de apertura del instrumento y de la longitud de la alidada<sup>1</sup>.

Por otra parte, puede determinarse el ángulo que la alidada forma con el horizonte, el cual se obtiene restando a  $90^\circ$  el ángulo obtenido con la medición.

Dado que el instrumento debe ser ubicado exactamente en el plano del meridiano del lugar, puede estimarse la declinación de un astro restando al ángulo obtenido en la observación el valor de la latitud del lugar, si se está observando hacia el sur (análogamente, si se está observando hacia el norte, sumando la latitud). Esto implicaba un gran cuidado para que el Triquetrum se hallase ubicado de modo tal que la alidada se moviese en el plano meridiano.



Este instrumento sufría de una flexión considerable en sus varillas, lo que provocaba que sus dimensiones no pudiesen ser muy grandes. Una curvatura en todas o cualquiera de sus varas, junto a cualquier leve “juego” de los pernos donde articulan las mismas, terminaba por hacer poco preciso al Triquetrum.

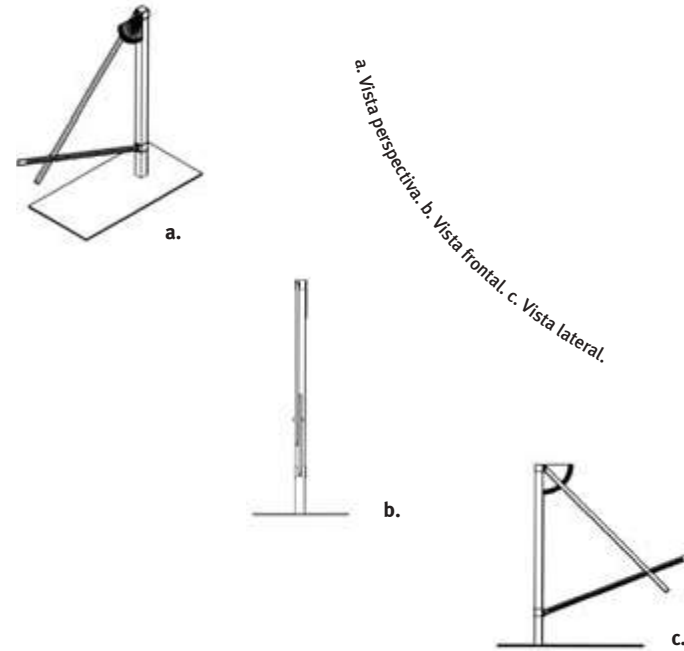
El punto trascendente del Triquetrum es que solamente comprometía una graduación simple a lo largo de una línea recta y evitaba realizar la división cuidadosa de un arco circular, un trabajo que entonces se consideraba complejo y tedioso.

Luego de hacer una observación y efectuar la marca correspondiente, la varilla se ubica de modo tal que se confronta la longitud obtenida (del perno a la marca obtenida con la alidada) con una escala graduada colocada sobre la vara principal.

Ese procedimiento tiene la ventaja de proteger la escala graduada de daños ocasionales durante la observación y supone también cierta comodidad para las lecturas cuando el pasaje del astro se sigue con suficiente cuidado.

Aunque fuese necesario consultar una tabla de cuerdas en cada observación, el uso del triquetrum resultaba conveniente y probablemente también más preciso que si se hubiera incorporado una escala graduada sobre un arco circular de similares dimensiones; un Triquetrum de este estilo es descrito por Tolomeo y por Pappo.

No obstante, debido a que es más seguro no transferir una lectura de una escala a otra, a posteriori se modificó el triquetrum graduando la varilla articulada; este cambio fue hecho por Al-Battani (cerca del 858–929).



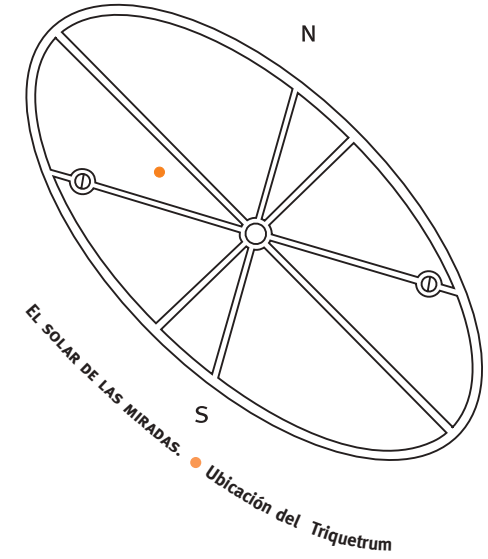
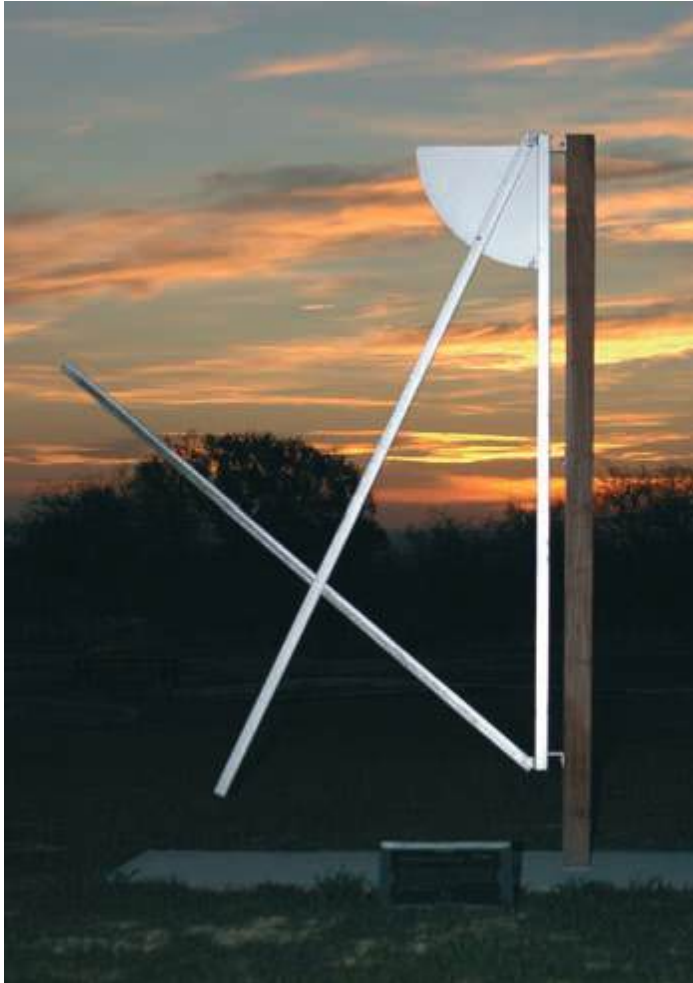
Finalmente, el Triquetrum podía ser desarmado y transportado sin daño y mucho más fácilmente que cualquiera de los otros instrumentos utilizados para observaciones similares.

En el triquetrum que montamos en el Solar de las Miradas usamos un poste de madera (anchico) de sección cuadrada, de 10cm de lado y 250cm de altura.

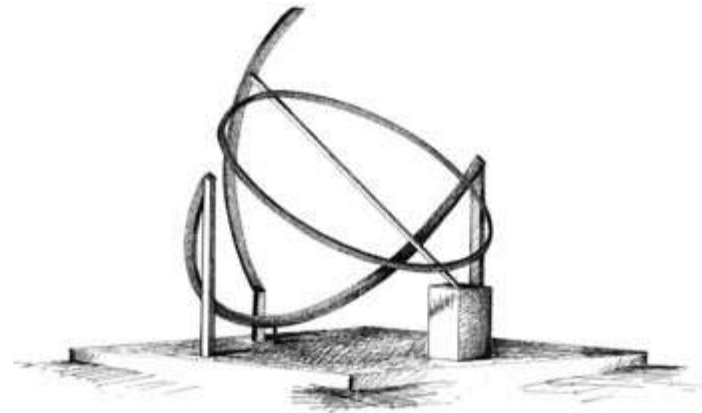
El brazo superior tiene 240cm de longitud y el inferior, 220cm; ambos fueron hechos con caños estructurales de hierro de sección rectangular de 4cm por 1cm, y 4cm por 3cm, respectivamente. El brazo inferior tiene una caladura de 1cm.

Ambos brazos del instrumento se mueven solidarios y articulan con el poste vertical, en forma independiente a través de rodamientos añadidos en sus puntos de contacto. Por último, incorporamos un cuadrante superior de 40cm de diámetro (a modo de guía) construido en chapa lisa.

Todos los materiales fueron tratados especialmente para soportar la intemperie.



armilla ecuatorial máxima



Armillas Ecuatoriales Máximas del Solar de las Miradas

Hacia 1585, el astr3nomo Tycho Brahe disen3 y ubic3 su *Armillas Ecuatoriales Máximas* en el ala sur de Stjerneborg, uno de los observatorios que mont3 en la isla de Hven (Dinamarca).

Coloc3 este instrumento dentro de una b3veda circular, bajo el nivel del suelo, cubierta por una gran c3pula desmontable.

A pesar de ser uno de los artefactos más grandes entre los construidos por Brahe, la manipulaci3n de esta armilla era simple, su utilidad muy importante y su precisi3n, muy alta para la 3poca.

Por su estructura y dimensiones, Brahe y sus colaboradores alcanzaron a determinar ángulos con una precisi3n de un cuarto de minuto de arco (15") con este instrumento.

En su estructura original se destacan dos piezas básicas:

### Círculo de las declinaciones

Se trata de un anillo cilíndrico de pequeño espesor y 2,72m de diámetro, que representa a un meridiano celeste; su nombre deriva de que sobre su superficie se medía la coordenada celeste llamada declinación<sup>1</sup>. Este círculo rota solidario a una barra que lo atraviesa por uno de sus diámetros, la cual se coloca formando un ángulo igual a la latitud del lugar de emplazamiento del instrumento; en otras palabras, esa barra representa el eje del mundo.

En el montaje original de Brahe, la longitud de esa barra era mayor que el diámetro del círculo de las declinaciones.

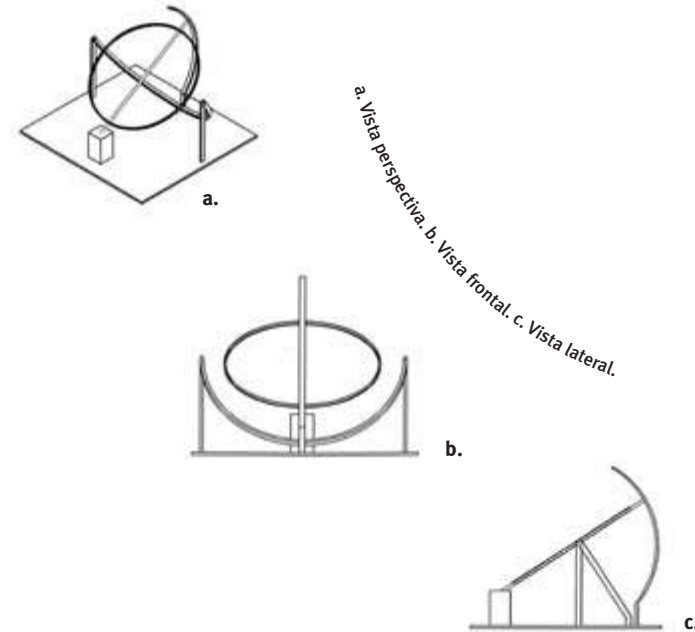
El extremo superior de la barra se sostenía mediante una estructura de vigas levantada por detrás del aro ecuatorial. En la parte superior, estaba adosado un armazón en forma de letra “U” con orificios, los cuales permitían que el eje girase.

En el extremo inferior, el eje giraba dentro de una cavidad hecha en el interior de una esfera de piedra, de unos 50cm de diámetro. En la superficie, esa esfera tenía grabados detalles ornamentales que recordaban algunos elementos de la esfera celeste, como el ecuador celeste y la posición de algunas estrellas.

Dos varillas planas articulaban en el centro del círculo de declinaciones y se usaban porque el observador alcanzase los límites externos de ese círculo y así determinar la declinación del astro observado sobre una escala<sup>2</sup> grabada; para facilitar la lectura, en sus extremos, ambas varillas poseían un herraje que permitía su ajuste.

<sup>1</sup> - Se trata de la distancia angular entre el astro y el ecuador celeste.

<sup>2</sup> - Graduada en unidades angulares sexagesimales (grados, minutos y segundos).



### Aro ecuatorial

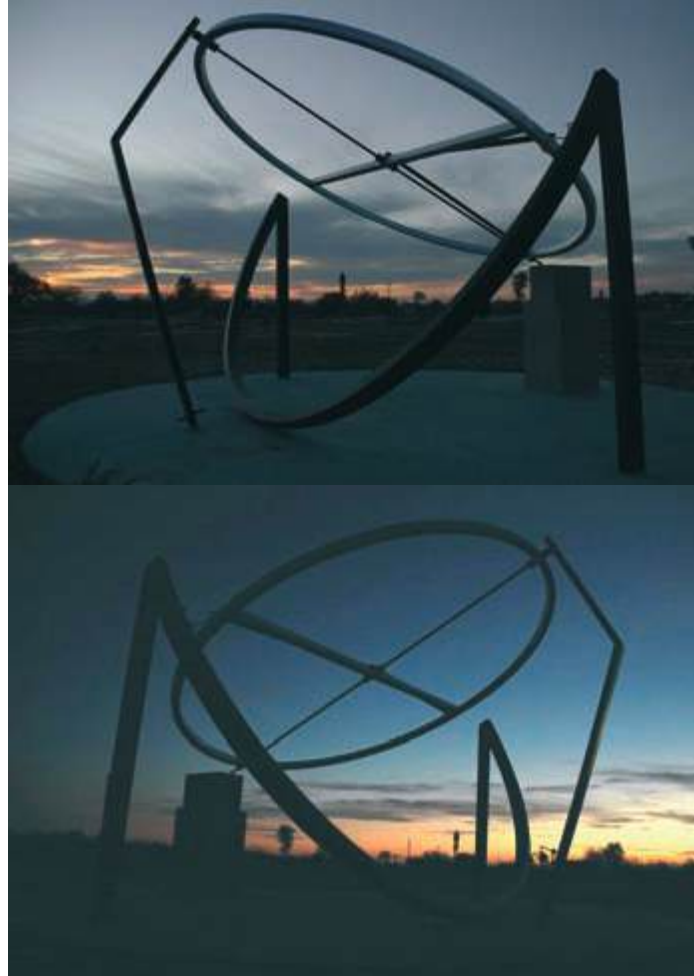
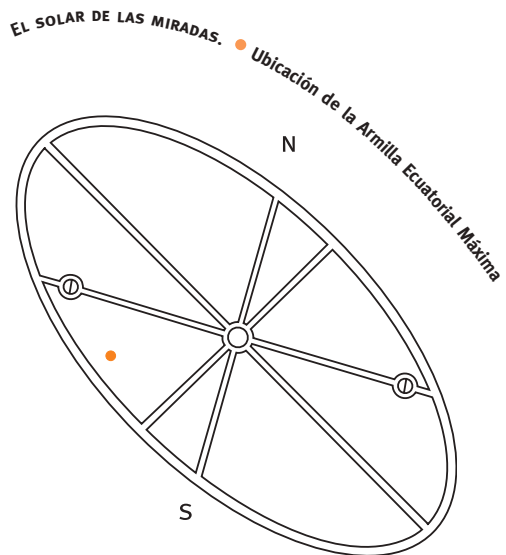
Se trata de un arco semicircular de 3,5m de diámetro, también de pequeño espesor, que representa un sector del ecuador celeste. Así, ese aro debía montarse de modo que quedase paralelo al ecuador celeste en el sitio de observación, para lo cual se precisaban varios pilares.

Como originalmente el instrumento se estableció por debajo del nivel del suelo, esas pilastras se ubicaron a diferentes alturas, sobre gradas circulares que rodeaban el gran artefacto.

Las gradas facilitaban el posicionamiento de los observadores que debían leer las escalas graduadas grabadas sobre el aro ecuatorial y el círculo de declinaciones, en listones de bronce.

Diferentes vistas de la Armilla Ecuatorial Máxima del Solar de las Miradas.

Por el borde externo del aro ecuatorial deslizaban dos clavijas. De acuerdo a la posición de ambas en la escala grabada sobre el aro, era posible medir diferencias angulares entre meridianos celestes en términos de coordenadas equivalentes al ángulo horario y la ascensión recta.



La Armilla Ecuatorial Máxima que montamos en el Solar de las Miradas reproduce la estructura y dimensiones de la montada por Brahe, no obstante, sus formas fueron elaboradas con otra estética, cuidando de no afectar su funcionalidad. Además, el artefacto fue totalmente construido en metal y no se instaló bajo el nivel del suelo como el original de Stjerneburg. Todos los materiales fueron tratados especialmente para soportar la intemperie.



# sextante astronómico triangular



El Sextante Astronómico Triangular del Solar de las Miradas

Hacia fines del siglo XVI, entre los mejores instrumentos diseñados y construidos por el astrónomo Tycho Brahe, se destaca por su precisión el denominado Sextante Astronómico Triangular.

En los grabados que representan el observatorio de Stjerneburg, de la isla de Hven, este artefacto aparece ubicado a la intemperie, en el ala sudeste.

El Sextante Astronómico Triangular fue utilizado fundamentalmente para determinar distancias aparentes entre las estrellas, aunque también se lo referencía como el instrumento con el cual se medían las alturas de otros astros, en particular de los planetas.

La precisión de este instrumento era de un cuarto de un minuto de arco (15").



Su pieza fundamental era un sector triangular, correspondiente a un círculo de 1,55m de radio, el cual estaba construido con listones de madera. En general, Brahe no utilizaba ese material para sus instrumentos sino el metal (hierro, latón, cobre, etc.) pero eventualmente usaba varas de nogal o de pino, debido a que de ese modo los instrumentos resultaban más livianos tanto para su manejo como para su eventual traslado.

El sector triangular estaba montado y ajustado a una esfera metálica, de 52cm de diámetro; esa esfera podía moverse dentro de un armazón de madera, de modo que el sector triangular del instrumento podía ubicarse en cualquier plano. Finalmente, el armazón con la esfera ensamblada, era sostenido por un pilar.

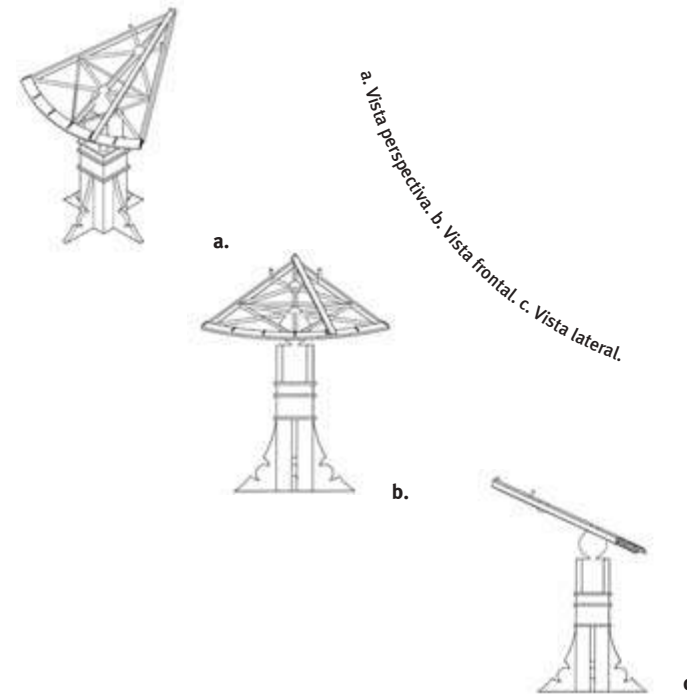
Sobre el borde circular del sector triangular se adosaba una escala graduada<sup>1</sup>, grabada en metal.

Desde el vértice del triángulo hasta el borde donde estaba la escala, se extendía una varilla metálica, usada para materializar la visual al astro; esa varilla podía girar sobre el sector triangular, cubriendo todas las graduaciones de la escala.

Además, los observadores<sup>2</sup> contaban con dos varillas auxiliares, libres, que utilizaban para dirigir la visión a astros diferentes, cuya distancia mutua se buscaba determinar.

<sup>1</sup> - En unidades sexagesimales (grados, minutos y segundos).

<sup>2</sup> - En general, el Sextante Astronómico Triangular era manipulado por dos personas, cada una con una de las varillas; si el ángulo a medir resultaba muy pequeño, los observadores debían estar muy juntos uno del otro.



El Sextante Astronómico Triangular que montamos en el Solar de las Miradas tiene un pedestal realizado completamente en metal y consta de una estructura principal, en forma de cubo de 30cm de lado, que alcanza unos 60cm de altura sobre la base.

El pedestal posee una base con cuatro “pies”, uno por cada una de las caras del cubo, que le dan equilibrio y, además, su diseño le otorga una estética particular al instrumento.

Sobre el pedestal se sostiene una estructura en cuadro (canasta) para contener la esfera sobre la que se montará el sector triangular; esa canasta está realizada en varillas de hierro de 0,6cm de espesor y 1,9cm de ancho.

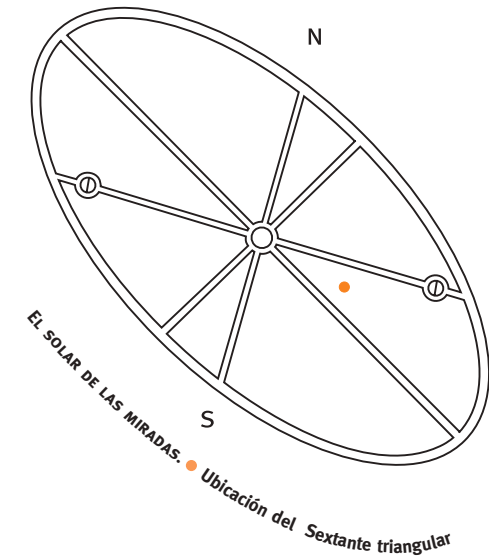
La esfera tiene 27cm de diámetro y está hecha de metal fundido.

Unido a la esfera se ha colocado el sector de círculo que forma el sextante. Esta pieza fue armada sobre con una estructura de caños metálicos, todos con sección rectangular de 0,4cm x 0,2cm. Su forma corresponde a un sector de circunferencia cuyo radio es de 155cm y en su borde tiene un listón de latón de 20cm de ancho por 162,2cm de perímetro. En su interior, el sector triangular posee un armazón entramado hecho también con caños redondos de hierro, de 1,9cm de diámetro, el que le da sostén y equilibrio.

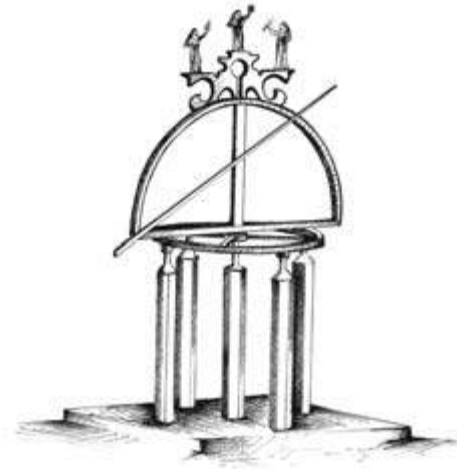
En el vértice del sector triangular pivota una regla de madera (anchico) del largo igual al radio del sector, que limita su movimiento a  $30^\circ$  a cada lado mediante topes de metal ubicados en los bordes del sextante.

Todos los materiales fueron tratados especialmente para soportar la intemperie.

**Aunque es de fácil maniobrabilidad, el sextante astronómico triangular era utilizado por dos personas. Una ubicaba los astros y otra efectuaba las mediciones.**



gran semicírculo azimutal



Entre los instrumentos contruidos por el astrónomo dinamarqués Tycho Brahe durante el siglo XVI, se distingue por su porte y utilidad el llamado Gran Semicírculo Azimutal.

El original es de 1588 y estaba construido en metal y madera; Brahe trataba a la madera con una mezcla de aceite y plomo, para preservarla de las deformaciones que pudiera sufrir por permanecer a la intemperie.

Este instrumento fue usado para determinar la posición de un astro en la esfera celeste, mediante la medida de las coordenadas azimut, altura y distancia cenital.

Consta de dos piezas fundamentales: un aro horizontal y un arco vertical.



El Gran Semicírculo Azimutal del Solar de las Miradas

1 - Grados, minutos y segundos.

### Aro horizontal

Se trata de un anillo metálico de 1,55m de diámetro, que representa el horizonte del lugar. Sobre ese anillo se halla grabada una escala graduada, en unidades sexagesimales<sup>2</sup>, sobre la cual se determina la coordenada azimut, que ubica el punto sobre el horizonte donde puede proyectarse el astro, según un plano perpendicular al mismo.

El aro horizontal tiene dos ejes diametrales y está emplazado sobre cinco pilares, uno de ellos en el centro del anillo, en el cruce de ambos ejes diametrales.

En el pilar central se monta el eje sobre el cual gira el arco vertical o semicírculo de alturas.

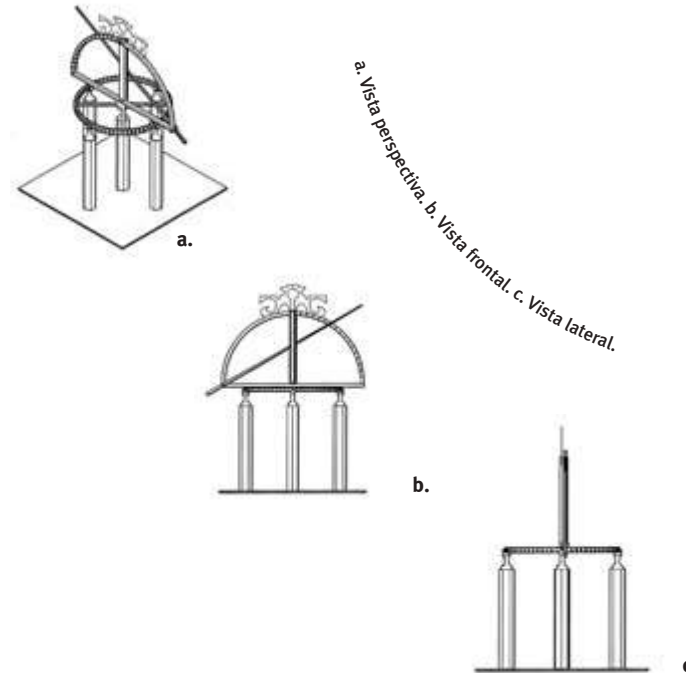
### Arco vertical

Se trata de un semicírculo, móvil, de 2,33m de diámetro, montado perpendicular al aro horizontal. Esta pieza sirve para medir las coordenadas altura y/o distancia cenital, y materializa el círculo de altura de un astro; para ello, incluye una escala graduada, grabada en su borde circular.

Para determinar un ángulo sobre el semicírculo, se usa una vara recta que materializa la visual al astro.

Esa vara pivotea en uno de los extremos del semicírculo vertical, deslizando sobre su escala graduada.

Las tres figuras femeninas que coronan el Gran Semicírculo Azimutal. Al centro, la musa de la astronomía, Urania. A su derecha, la Geometría y a la izquierda, la Aritmética.





Dado que el semicírculo puede rotar sobre un eje, es posible dirigir la visual al astro en cualquier dirección horizontal.

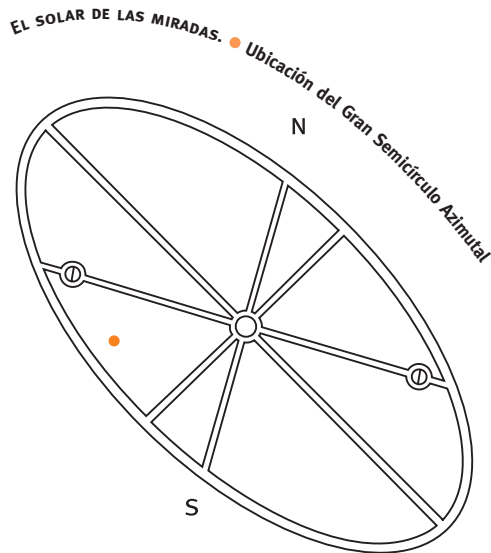
Según los grabados de época, el Gran Semicírculo Azimutal tuvo diversas ornamentaciones que referían a la astronomía. En la parte superior del semicírculo de alturas, contaba con tres esculturas, cada una de las cuales representaba a una mujer con túnica griega. La de mayor altura, ubicada sobre el eje del instrumento, era Urania, la musa de la astronomía, considerada entonces la más importante de las ciencias.

Siguiendo el contorno del arco vertical, algo más abajo de Urania y a la misma distancia a uno y otro lado de aquella musa, se hallaban dos figuras femeninas: una doncella que representaba a la Geometría, con triángulos en sus manos y, al otro lado, otra joven que representaba a la Aritmética, ofreciendo números y otras figuras a Urania.

A pesar de su gran tamaño, el instrumento original de Brahe podía desarmarse por completo, para facilitar su traslado y su ensamble en otros lugares.

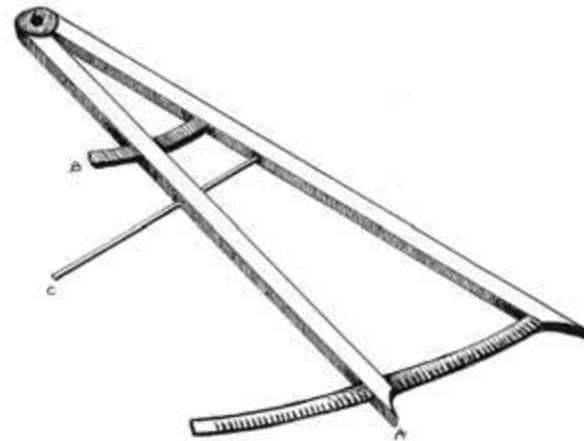
El Gran Semicírculo Azimutal que montamos en el Solar de las Miradas se ha dispuesto sobre cinco postes de 150cm de altura sobre el nivel de la base, hechos con madera semidura (anchico) y de sección cuadrada de 10cm de lado. El diámetro del aro horizontal es de 160cm, mientras que el del arco vertical, 233cm. El eje central, por su parte, es de 290cm de largo.

Las figuras femeninas que adornan el instrumento son planas, están hechas en chapa de hierro y tienen un tamaño de 40cm de altura por 25cm de ancho. Todos los materiales fueron tratados especialmente para soportar la intemperie.





# registrador de ángulos pequeños



Registrador de Ángulos Pequeños, sobre el césped del Solar de las Miradas

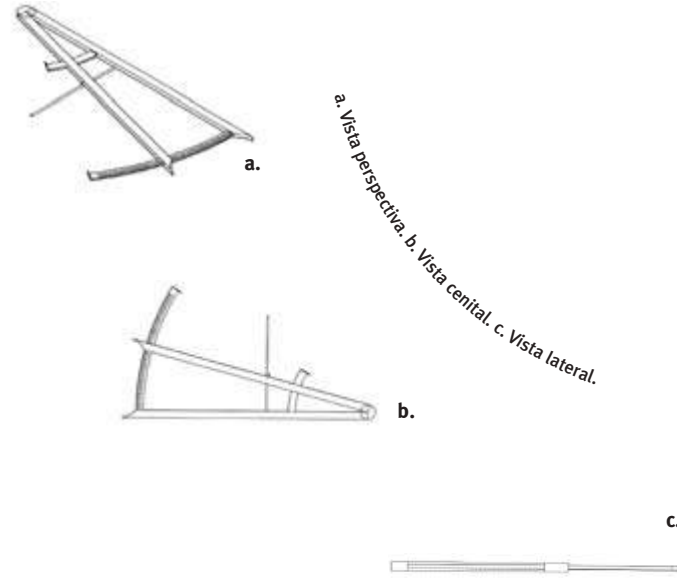
Este artefacto fue ideado y construido por Tycho Brahe en 1572, para ser usado por una única persona; es muy probable que él mismo lo haya utilizado para sus observaciones celestes.

Permite determinar distancias aparentes hasta los  $30^\circ$ . No obstante, Brahe advirtió en sus escritos que la escala graduada sobre la que se realizan las mediciones podía cambiarse por otra, de mayor longitud, y hacer que el instrumento alcance los  $60^\circ$ .

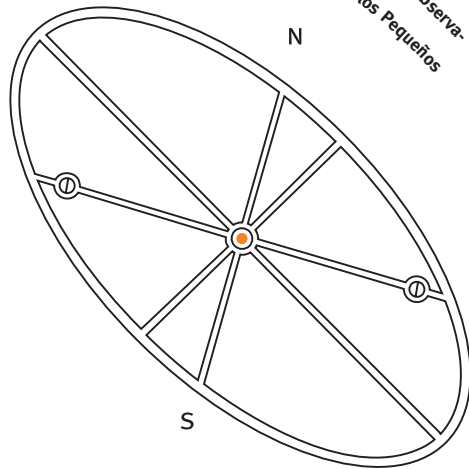
La escala estaba grabada sobre un limbo hecho de cobre y el radio del sector circular era de 1,55m. Los dos lados móviles del instrumento eran de madera y articulaban por medio de un perno en el vértice; su ajuste se realizaba con un tornillo a manivela.

Este instrumento no preveía ningún sostén para su uso durante la observación, era sostenido directamente con ambas manos, o bien un extremo se apoyaba sobre el borde de una ventana.

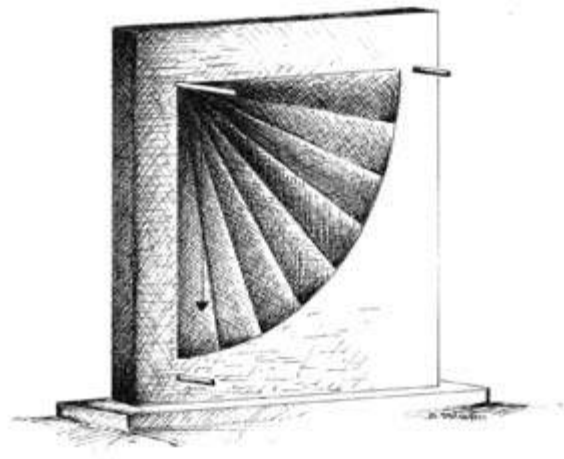
El Registrador de Ángulos Pequeños que montamos en el Solar de las Miradas forma parte de la colección de instrumentos de mano que se guardan en la Torre de Observación. Sus brazos principales son de 160cm de largo y tienen un espesor de 5cm; está hecho totalmente en madera (anchico) y con algunos herrajes en hierro y bronce. Ambos brazos articulan en el centro por un sistema de bisagras y apertura o cierre, se realizan por un sistema de varilla roscada en dos secciones.



EL SOLAR DE LAS MIRADAS. ● Ubicación de la Torre de Observación, donde se guarda el Registrador de Ángulos Pequeños



plinto de tolomeo



El zócalo o Plinto de Tolomeo se describe en el “Almagesto” y era usado para determinar la altura del Sol a mediodía<sup>1</sup>.

Esas observaciones, efectuadas en los solsticios<sup>2</sup>, brindaban al astrónomo la posibilidad de determinar la oblicuidad de la eclíptica y la latitud del lugar de observación.

El instrumento consiste en un bloque único de piedra o de madera, de caras planas, colocado sobre el piso y nivelado con cuidado mediante pequeñas cuñas colocadas debajo de su estructura.

Una de las caras del bloque se coloca en el plano del meridiano del lugar y luego se ubican dos clavos o pernos, pequeños y cilíndricos, por encima y debajo del canto de esa cara.

Plinto de Tolomeo montado en el Solar de las Miradas



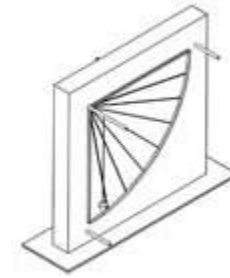
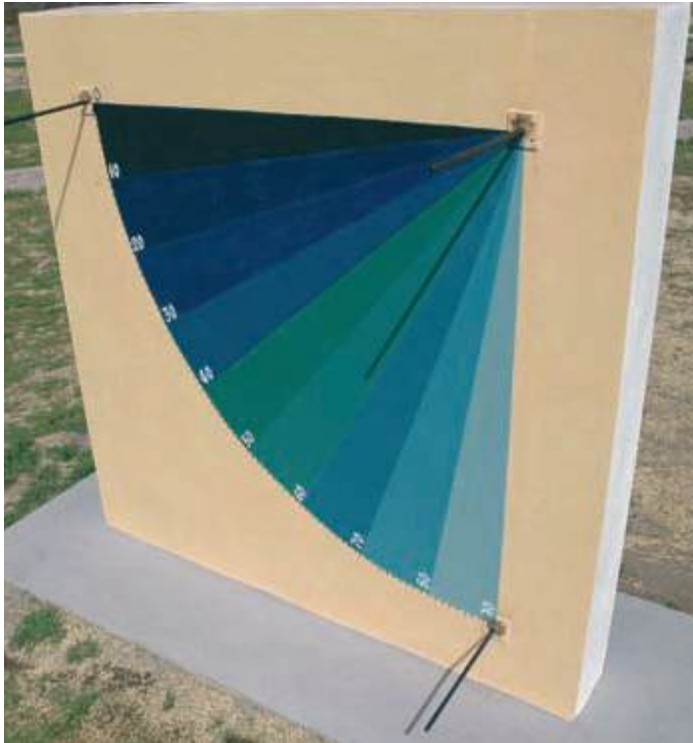
*1 - El mediodía o culminación solar se produce a diferentes alturas, fecha tras fecha.*

*2 - En la fecha del solsticio de verano el Sol alcanza su máxima altura sobre el horizonte; la mínima se produce en el solsticio de invierno.*

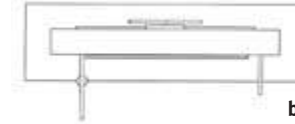
El clavo más alto cumple el rol del estilete de un Gnomón, ya que proyecta una sombra sobre un cuadrante grabado sobre la cara. De ese clavo pende el hilo de una plomada que debe caer exactamente sobre el clavo inferior cuando el plinto se encuentra nivelado.

Dado que el clavo proyecta una sombra de considerable grosor, sobre la escala se hace necesario leer ambos bordes de la sombra y realizar un promedio de lecturas.

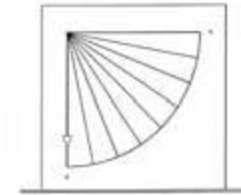
Un inconveniente serio en este tipo de instrumento es que el Sol puede proyectar una sombra sobre la cara del plinto solamente antes o después del mediodía, según que la superficie mire hacia el este o hacia el oeste; de esta manera resulta difícil juzgar el momento exacto del mediodía verdadero.



a.



b.



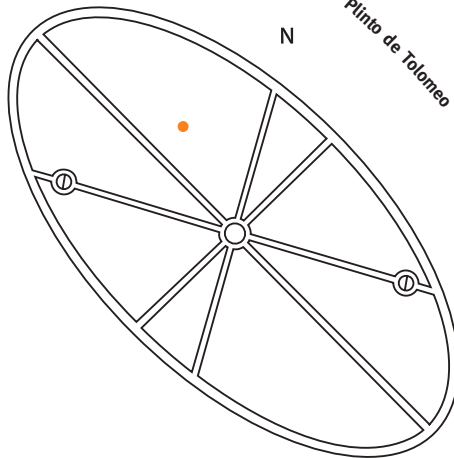
c.

a. Vista perspectiva. b. Vista cenital. c. Vista frontal.

Detalle del cuadrante del Plinto de Tolomeo, en el que cada sector de 10° fue pintado con diferentes tonalidades.



EL SOLAR DE LAS MIRADAS. ● Ubicación del Plinto de Tolomeo

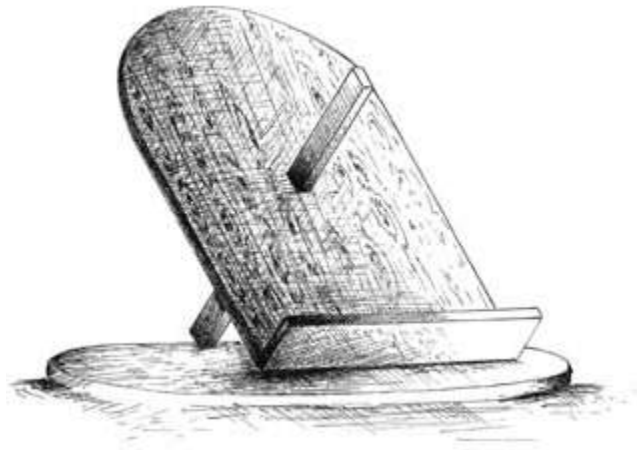


Tal inconveniente fue más tarde superado sustituyendo el dispositivo de los clavos y de la sombra por un brazo articulado; este tipo de instrumento, llamado *Cuadrante Mural*, fue usado por el astrónomo Tycho Brahe en el observatorio de Uraniburg, en la isla de Hven (Dinamarca).

El Plinto de Tolomeo que montamos en el Solar de las Miradas está compuesto de un muro vertical de 20cm de ancho, 180cm de altura y 180cm de largo, sobre el que se ha inscripto un cuadrante circular de 260cm de diámetro, graduado con unidades sexagesimales.

Los pernos del instrumento son de acero y, como el resto de los materiales, fueron tratados especialmente para soportar la intemperie.

rampa celeste





Se trata de un artefacto de fines del siglo XX, surgido de la inventiva de N. Lanciano y F. Lorenzoni, en la Casa Laboratorio de Cenci (Italia).

Es una estructura imaginada para que una o dos personas se posicionen con sus cuerpos paralelos al ecuador y sostengan la mirada en dirección al polo sur elevado.

Una placa de madera se monta inclinada de modo de coincidir con el plano del ecuador.

Un listón, también de madera, la atraviesa y por lo tanto queda ubicado perpendicular al plano de la placa. Se orienta con una inclinación tal que su dirección señale exactamente el polo elevado que, en el Solar de las Miradas, es el polo celeste sur.

En la base de la Rampa Celeste, la placa tiene un pequeño listón perpendicular de modo que un par de personas puedan apoyarse sobre el mismo para recostarse sobre la placa. La Rampa Celeste se ubica haciendo coincidir el listón con la línea meridiana.

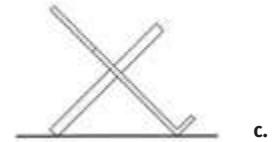
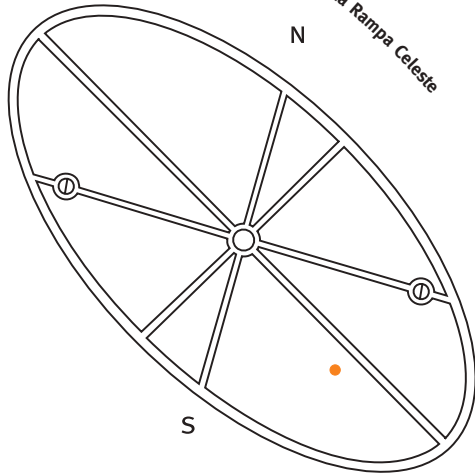
El dispositivo colocado en el Solar de las Miradas se ha construido totalmente en madera semidura (anchico). Es una placa de 180cm de altura, 120cm de ancho y un espesor de 2,5cm.



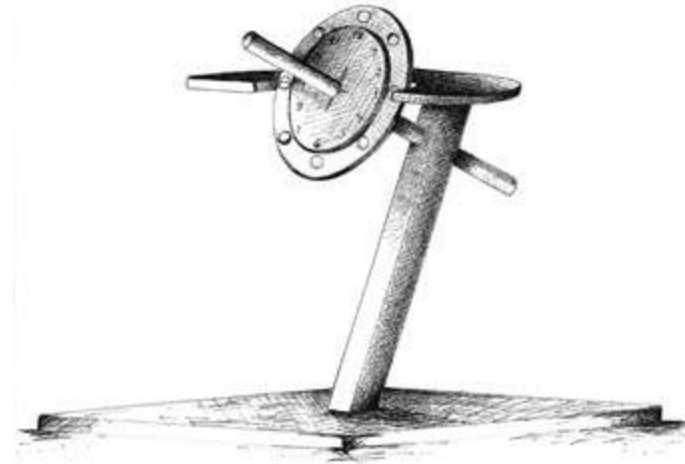
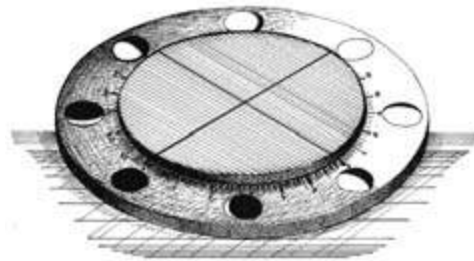
El listón dirigido al polo es un poste de sección cuadrada de 10cm de lado, y tiene 150cm de largo.

Por último, el dispositivo se ha montado sobre una base de cemento armado, de forma circular y de 100cm de diámetro. Todos los materiales fueron tratados especialmente para soportar la intemperie.

EL SOLAR DE LAS MIRADAS. ● Ubicación de la Rampa Celeste



# relojes lunares



1 - En términos horarios, se comete a lo sumo un error de 15 minutos.

Gran Reloj Lunar del Solar de las Miradas

Entre los instrumentos del Solar de las Miradas hemos incluido dos artefactos, que llamados *relojes lunares*; uno es pequeño, como parte de la colección de instrumentos de mano que se guardan en la Torre de Observación, y otro, de mayor tamaño, está emplazado entre los demás artefactos del predio.

No se trata de relojes de Luna tradicionales, es decir, instrumentos que indican la hora solar o tiempo verdadero mediante la sombra proyectada por la luz de la Luna; es decir, no son relojes estrictamente hablando.

El reloj lunar que señalamos es un dispositivo inventado por Armando Zandanel (1996) de la ciudad de Chivilcoy (Provincia de Buenos Aires, Argentina) y lo hemos incluido entre los artefactos del Solar de las Miradas porque ha resultado un artefacto relevante por sus posibilidades didácticas, ya que permite determinar, en forma aproximada<sup>1</sup>, la hora en que la Luna alcanza su altura máxima sobre el horizonte, y su horario de salida y puesta.

Consta de tres piezas principales:

- Un disco mayor en el que se representan, mediante esquemas o dibujos, las principales fases lunares en su secuencia habitual, y en sentido contrario a las agujas del reloj (antihorario), es decir: Luna Nueva, Lúnula Menguante, Cuarto Menguante, Luna Gibosa Menguante, Luna Llena, Luna Gibosa Creciente, Cuarto Creciente y Lúnula Creciente.
- Incluye también un círculo graduado con las horas<sup>2</sup>, numeradas de 0h a 23h, pero ubicadas en forma inversa a como se hallan en el cuadrante de un reloj común.
- Por último, se indican cuatro instantes particulares: la salida (0h) y puesta del Sol (18h), el mediodía (12h) y la medianoche (0h).
- Un disco menor con la ubicación de los puntos cardinales.
- Un indicador o flecha.

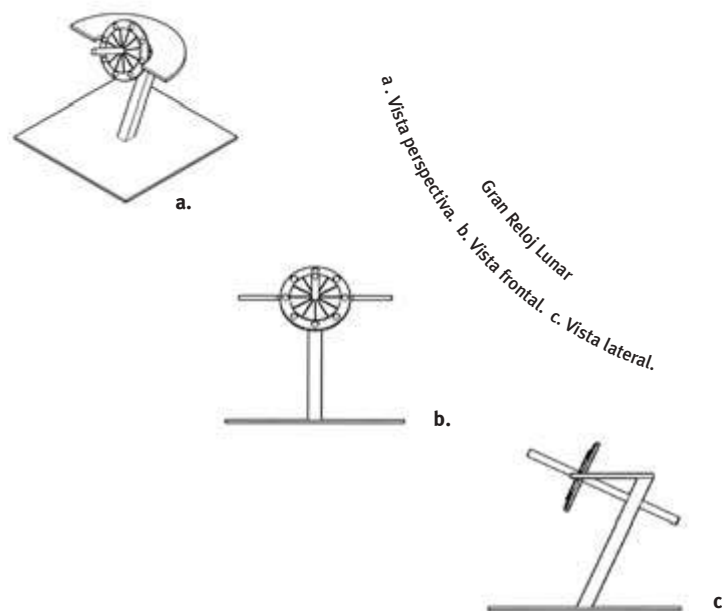
Las tres piezas se ensamblan de modo que los discos sean concéntricos. El disco menor y la flecha pueden girar libremente, pivotando en ese centro común.

Para activar el Reloj Lunar, son precisas dos circunstancias:

- la Luna debe ser visible, y
- el observador debe poder identificar en qué fase se encuentra.

Luego, se rota el disco menor hasta que su norte quede orientado, sobre el disco mayor, hacia la fase reconocida en el cielo. A continuación se mueve la flecha ubicándola de acuerdo a la posición de la Luna en el cielo. La dirección que queda determinada señalará en la escala horaria del círculo mayor, la hora en que se realiza la observación. Además, es posible estimar:

- *La hora de salida de la Luna*, leyendo la hora que señala el punto cardinal este del disco menor, sobre la escala horaria del disco mayor.
- *La hora de puesta de la Luna*, leyendo la hora que señala el punto cardinal oeste del disco menor, sobre la escala horaria del disco mayor.



- *La hora de culminación de la Luna*, leyendo la hora que señala el punto cardinal norte del disco menor, sobre la escala horaria del disco mayor.

El Reloj Lunar que se halla en la Torre de Observación, está compuesto por dos discos de 60cm y 40cm de diámetro.

<sup>2</sup> - No se incluyen subdivisiones en minutos ni segundos.

Basado en el diseño original de Zandanel, Conrado Kurtz armó una versión similar, aunque de mayores dimensiones, a la que denominamos *Gran Reloj Lunar*. Si bien los fundamentos de este aparato son los mismos que mencionamos, en esta versión se incorporan algunas diferencias significativas.

El gran reloj lunar consta de un sector anular que cubre un ángulo de  $200^\circ$ , ubicado de modo tal que coincide con el plano del horizonte y cuya mediatriz se orienta en dirección al norte, de modo que su concavidad resulte hacia el sur. Sobre ese sector están grabados los puntos cardinales este, oeste y norte.

Este sector anular está montado sobre un pedestal por el que pasa una varilla que representa el eje del mundo y cuya inclinación coincide con la latitud del Solar de las Miradas y pasa por el centro de curvatura de la pieza. En ese punto se ubican dos discos concéntricos de distinto diámetros.



En el disco mayor se han representado treinta aspectos de la Luna (fases), separados unos  $20^\circ$  entre sí. Las fases están colocadas en orden creciente, es decir, desde el Novilunio al Plenilunio y en sentido contrario a las agujas de un reloj.

En el disco menor están registradas las horas de 0h a 23h y fracciones de 15 minutos, también en sentido antihorario.

Para activar el Gran Reloj Lunar, deben cumplirse las mismas dos circunstancias que mencionamos: la Luna debe ser visible y el observador debe poder identificar su fase.

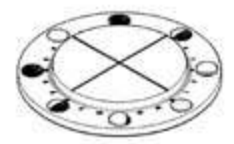
El procedimiento para uso comienza identificando entre las fases representadas en el disco mayor, la que coincide con la real observada. Esa figura debe colocarse de modo que concorra con la dirección horizontal en la que se divisa la Luna en ese instante.

A continuación se rota el disco menor, hasta que la posición de la hora del instante de observación coincida con la de la fase. De este modo puede determinarse en forma aproximada la hora de salida de la Luna, que será aquella donde se encuentre el punto cardinal este en el sector anular.

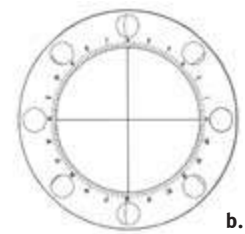
Análogamente, la hora de puesta lunar se halla mirando la hora que aparece en el círculo menor donde está el punto cardinal oeste, en el mismo sector. Finalmente, para la culminación de la Luna se debe leer la hora que se encuentra hacia el norte, siempre sobre el sector anular.

Si se desea estimar la hora de salida, culminación y puesta de la Luna en cualquier fase, se debe colocar la fase de Luna Nueva del disco mayor en coincidencia con la hora 12h del disco menor, y luego mover el conjunto hasta que la fase deseada coincida con el norte del sector anular.

Reloj Lunar Pequeño del Solar de las Miradas



a.



b.



c.

Reloj Lunar Pequeño  
a. Vista perspectiva. b. Vista cenital. c. Vista lateral.



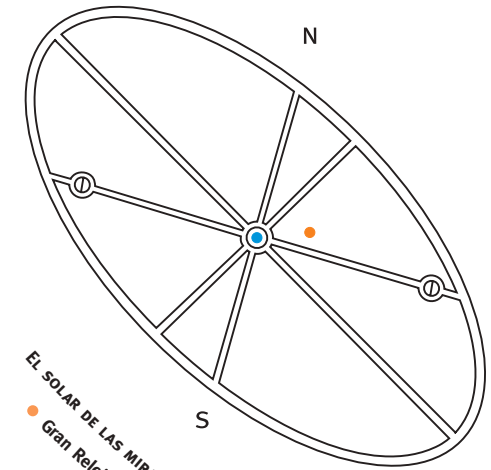
Colocado en esa posición, se lee de manera similar a la ya descrita: la hora de salida hacia el este, de culminación hacia el norte y de puesta en el oeste, siempre en el sector anular.

El Gran Reloj Lunar fue hecho íntegramente en madera semidura (anchico). El sector anular tiene 120cm de diámetro y 2,5cm de espesor, mientras que su ancho es de 30cm.

El pedestal que lo sostiene es un poste de sección cuadrada, de 10cm de lado, que se ha montado formando un ángulo de 65° respecto del plano horizontal. Sobre ese pedestal, a 140cm de altura, se ha ensamblado el sector anular.

La barra que representa el eje del mundo, es una vara cilíndrica de 5cm de diámetro y 120cm de largo. Los diámetros de los discos mayor y menor son 55cm y 40cm, respectivamente.

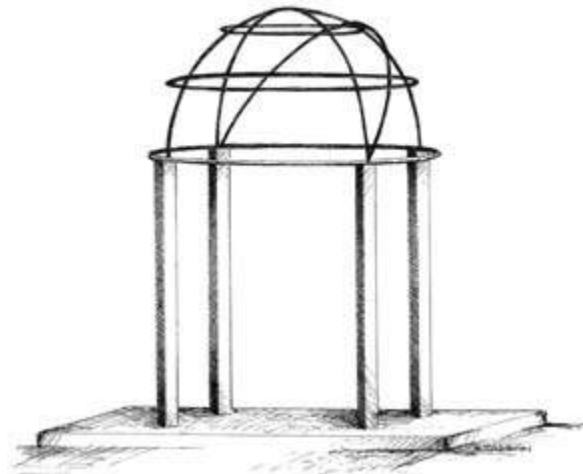
Todos los materiales fueron tratados especialmente para soportar la intemperie.



El SOLAR DE LAS MIRADAS. Ubicación de los Relojes Lunares:  
 ● Gran Reloj Lunar. ● Torre de Observación, donde se guarda el Reloj Lunar de mano (pequeño).



cúpula de cristal  
cúpula de cristal



Uno de los modelos geométricos más efectivos que se han aplicado al cielo es el de una esfera centrada en el observador, de radio infinito, sobre cuya superficie interna se proyectan los astros.

La ubicación de un astro en esa esfera celeste se refiere a rectas y planos de referencia que cruzan la esfera celeste y permiten determinar la posición a través de medidas angulares que forman diversos sistemas de coordenadas.

Muchos de los planos, puntos y rectas que sirven de referencia en la esfera celeste son proyecciones de los homólogos de la esfera terrestre. Por ejemplo, mencionamos los siguientes:

- *el ecuador celeste* es la proyección en la esfera celeste del ecuador terrestre,
- *los polos celestes* (sur y norte) son, respectivamente, la proyección de los polos terrestres sobre la esfera celeste.

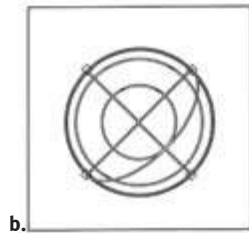
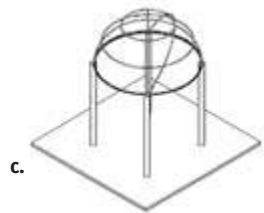
El astrónomo incorpora en su mirada muchos de esos planos luego de ejercitarse en su localización en el cielo y de educar su percepción mediante relaciones de aspecto, posición y movimiento de los astros.

Aunque la esfera celeste es indefinidamente grande, es posible representarla como si fuese vista desde afuera.



La Cúpula de Cristal del Sol de las Miradas. Un observador ubicado debajo puede materializar algunos de los principales planos de referencia astronómicos

a. Vista perspectiva. b. Vista cenital. c. Vista lateral.



Hemos denominado Cúpula de Cristal a un dispositivo que modela algunos de los principales planos de referencia astronómicos y materializa algunos aspectos de la esfera celeste para un observador situado en el centro del dispositivo, al mismo tiempo que permite observarlos para otro observador que la pudiese mirar desde afuera de la misma.

En otras palabras, cuando el observador se ubica en el centro de la Cúpula de Cristal, hace coincidir su cenit con el punto más alto del dispositivo y, al visualizar el cielo, simultáneamente puede incorporar a su mirada los planos astronómicos de referencia.

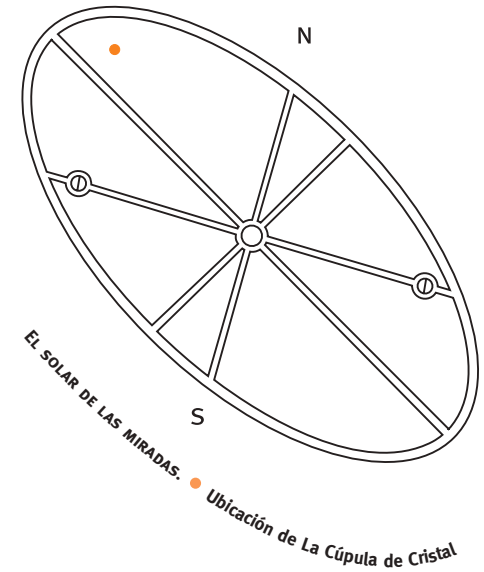
Un aro de hierro, montado sobre cuatro pilares, representa el horizonte del lugar y, sobre él se alzan varios semicírculos que modelan los siguientes planos fundamentales:

- *el ecuador celeste*, inclinado respecto al horizonte un ángulo igual a la colatitud del lugar.
- *el meridiano del lugar*,
- *el primer vertical*
- *dos círculos paralelos al horizonte*, llamados almicantaradas, a saber:
  - la almicantarada que contiene al polo celeste sur (ubicado a una altura igual a la latitud del Solar de las Miradas), y
  - la almicantarada que pasa por la intersección del ecuador celeste con el meridiano del lugar.

Este dispositivo sirve también como un punto de observación privilegiado, tanto diurno como nocturno, que permite visualizar las posiciones de los astros con respecto a los principales planos de referencia astronómicos.

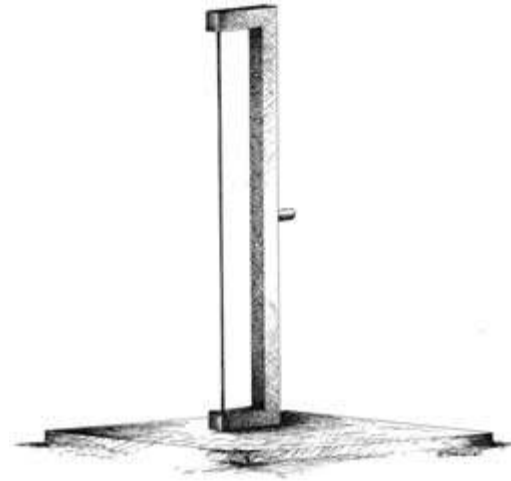
La Cúpula de Cristal que hemos instalado en el Solar de las Miradas tiene un diámetro de 300cm y es sostenida por cuatro postes elevados 150cm sobre el nivel de la base del instrumento; los postes son de madera semidura (anchico) y de sección cuadrada de 10cm de lado.

El horizonte está hecho en chapa de latón 0,8cm de espesor y 5cm de ancho. El resto de los planos de referencia celestes se han hecho con varas metálicas de hierro macizo, también de un espesor de 0,8 cm.



En esta imagen, se simula el crepúsculo de una fecha equinoccial; entonces el Sol, moviéndose sobre el ecuador celeste está por ocultarse exactamente por el Oeste.

filum sidereum  
filum sidereum



Filum Sidereum del Solar de las Miradas

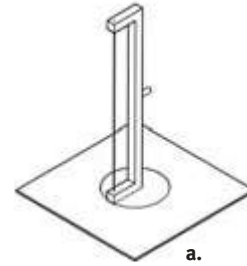
Hemos ideado este instrumento para recrear una de las primeras observaciones hechas con un elemento de referencia artificial: un hilo tenso, vertical.

Existen antiguos registros sobre el procedimiento que consistía en atar un hilo a una rama alta de un árbol y colgar de su extremo libre un cierto peso, de modo de que quede tirante y en dirección vertical; en ocasiones se usaba el peso para determinar la perpendicularidad al horizonte y luego se lo sujetaba al piso.

Tomando la dirección del hilo, puede observarse el pasaje sucesivo de las estrellas fijas, durante la rotación aparente de la esfera celeste.

Midiendo el tiempo que una misma estrella realiza dos pasajes sucesivos por el Filum Sidereum, es posible estimar la duración de dicha rotación.

La altura del Filum Sidereum que montamos en el Solar de las Miradas es de 220cm y está construido totalmente en madera semidura (anchico).



a.

a. Vista perspectiva b. Vista frontal c. Vista lateral.



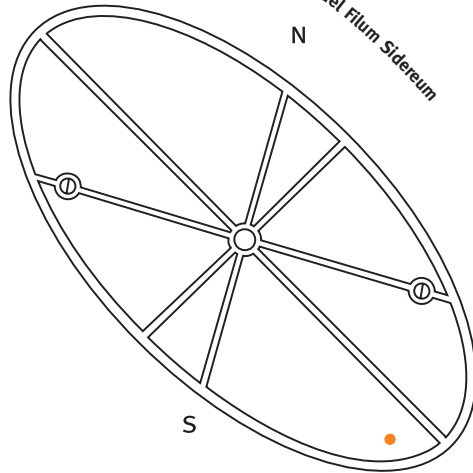
b.



c.

EL SOLAR DE LAS MIRADAS.

• Ubicación del Filum Sidereum

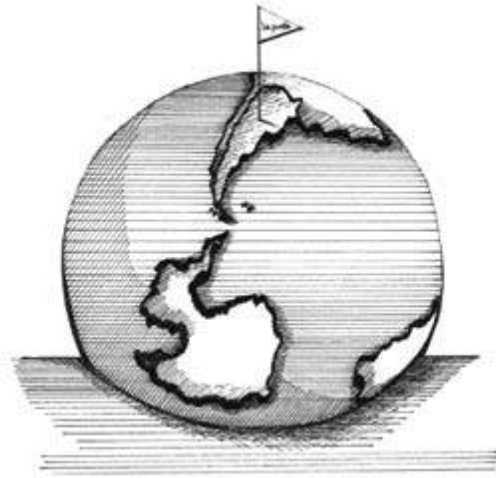


Todos los postes son de sección cuadrada, de 10cm de lado. Las piezas transversales inferior y superior, tienen ambas 30cm de longitud. Entre ellas, se ha tensado un cable de acero inoxidable de 200cm de largo.

Por último, el eje principal puede girar 360° sobre la base, mediante un perno interior. La base de Filum Sidereum es de cemento armado y es circular, de 40cm de diámetro.

Todos los materiales fueron tratados especialmente para soportar la intemperie.

globo terráqueo paralelo





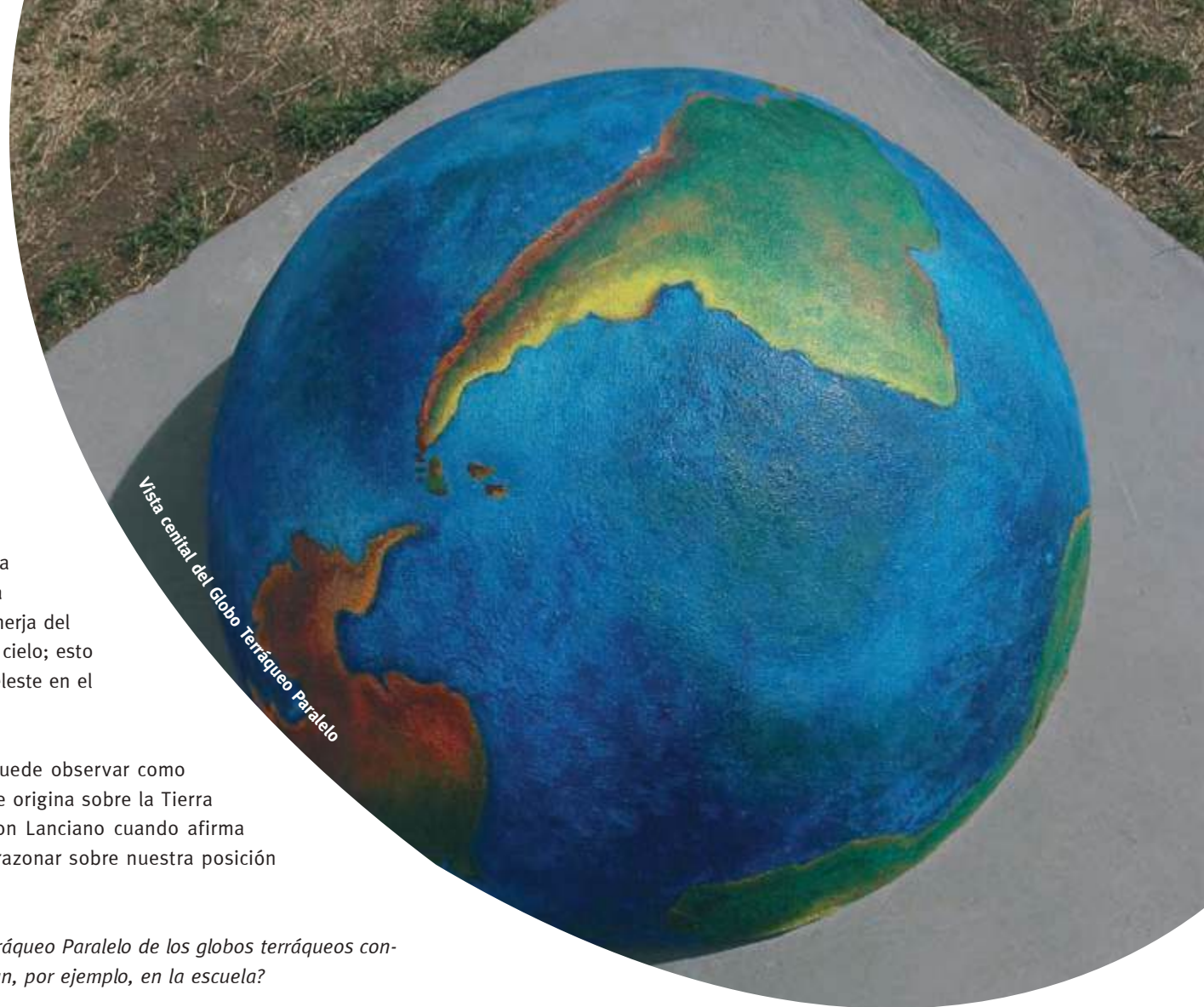
Se trata de una esfera que representa a la Tierra, orientada del mismo modo que nuestro planeta en el espacio.

Este tipo de globo<sup>1</sup> formó parte del instrumental de trabajo habitual de los antiguos astrónomos y geógrafos, al que le daban diversas aplicaciones.

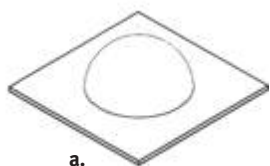
La orientación de esta representación de la esfera terrestre en un lugar determinado de la Tierra, se logra prolongando una línea que emerja del polo elevado en el lugar, proyectándolo en el cielo; esto permite identificar la dirección del polo sur celeste en el cielo del sitio.

Sobre el Globo Terráqueo Paralelo se puede observar como el Sol produce los mismos fenómenos que origina sobre la Tierra real y al mismo tiempo. Coincidimos con Lanciano cuando afirma que se trata de un modelo útil para razonar sobre nuestra posición en nuestro planeta.

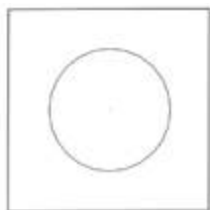
*¿Qué diferencia al Globo Terráqueo Paralelo de los globos terráqueos convencionales que se encuentran, por ejemplo, en la escuela?*



<sup>1</sup> - Existían dos tipos de globos astronómicos: los que representaban a la Tierra y los que representaban la esfera celeste.



a.



b.

a. Vista perspectiva. b. Vista cenital. c. Vista lateral.



c.



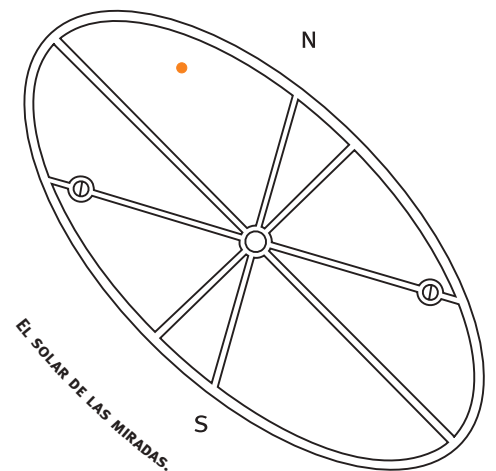
Geoméricamente, un globo terráqueo común es un modelo similar a la Tierra. En cambio, el Globo Terráqueo Paralelo muestra, además, otras características:

- Su eje es paralelo al eje del mundo. En el Solar de las Miradas, dicho eje está dirigido exactamente hacia el polo sur celeste.
- Todo plano tangente en un punto cualquiera del Globo Terráqueo Paralelo es paralelo al plano del horizonte del sitio correspondiente sobre la Tierra.
- En el sitio donde está montado este artefacto, el horizonte del observador resulta paralelo al plano tangente del Globo Terráqueo Paralelo en su punto más alto, de modo que todo el mundo resulta por debajo del mismo, tal como cualquier persona tiene a todo el mundo debajo de sus pies. El montaje en el Solar de las Miradas tiene como punto más alto la localidad de La Punta (San Luis, Argentina).

El Globo Terráqueo Paralelo que hemos montado en el Solar de las Miradas se trata de una esfera de 120cm de diámetro, construida en cemento armado.

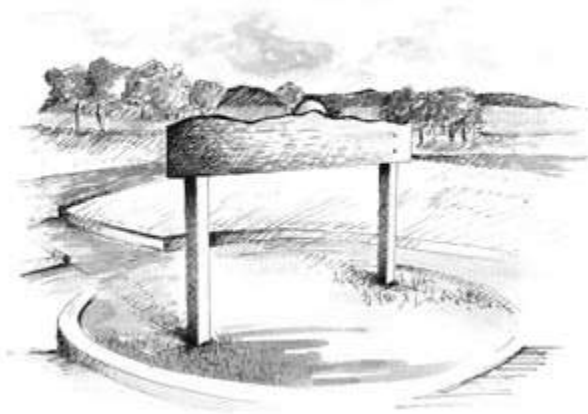
El aspecto de los continentes se logra con un leve sobrerrelieve y luego con pintura.

El instrumento se halla inserto en una base horizontal dejando visible sólo el hemisferio que tiene a la localidad de La Punta (San Luis, Argentina) como punto más alto. Todos los materiales fueron tratados especialmente para soportar la intemperie.



Un niño ubicado sobre el Globo Terráqueo Paralelo experimenta cómo el planeta se halla debajo de sus pies. La foto, tomada en la inauguración del Solar de las Miradas, incluye al Señor Gobernador, Dr. Alberto Rodríguez Saá y al autor, Horacio Tignanelli.

# modelos de levante y de poniente



Se trata de dos artefactos de similares características, que hemos ideado para visualizar la zona del horizonte donde se producen los levantes y ponientes del Sol.

Uno de estos modelos se coloca hacia oriente, centrado en el oeste, y el otro hacia occidente, centrado en el este.

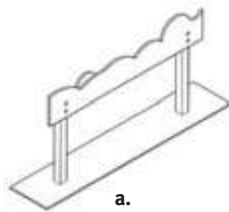
Ambos tienen una forma similar: se reproduce el contorno del horizonte del lugar sobre un listón de madera y, por detrás, se puede desplazar un disco que representa al Sol sobre una guía a tal efecto.

Se indica además la posición desde la cual un observador ve recortado sobre el dorso de la estructura del modelo de levante o de poniente, el contorno del paisaje que ese observador tiene sobre el horizonte, por detrás del respectivo artefacto.

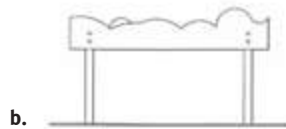
El disco solar móvil puede desplazarse sobre la guía hasta ciertos topes, uno a la izquierda y otro a la derecha.



El Sol se pone en el horizonte del Solar de las Miradas y el modelo reproduce su posición en el horizonte artificial.



a.



b.



c.

a. Vista perspectiva. b. Vista cenital. c. Vista lateral.

Esos límites mecánicos que detienen el disco solar, están ubicados en el anverso del horizonte, hacia un lado y otro del punto cardinal que lo identifique; es decir, el este en el modelo de levante, y el oeste en el modelo de poniente.

Esos topes señalan el levante del Sol en las fechas de los solsticios. Por ejemplo, en el modelo de levante, el tope ubicado hacia el norte del punto cardinal este, muestra por donde surge el Sol en el solsticio de invierno; análogamente, el tope ubicado hacia el sur, muestra por donde surge en el solsticio de verano.

La distancia entre cada tope y el punto cardinal central de cada modelo, es idéntica. No obstante, son propios de cada sitio, varían con la latitud del lugar; es decir, si se llevasen estos modelos a otros sitios, deberían ajustarse los topes a las distancias en que ocurren los levantes y los ponientes, en las fechas de solsticio, en ese lugar.

Los modelos de levante y poniente del Solar de las Miradas fueron construídos totalmente en madera semidura (anchico).

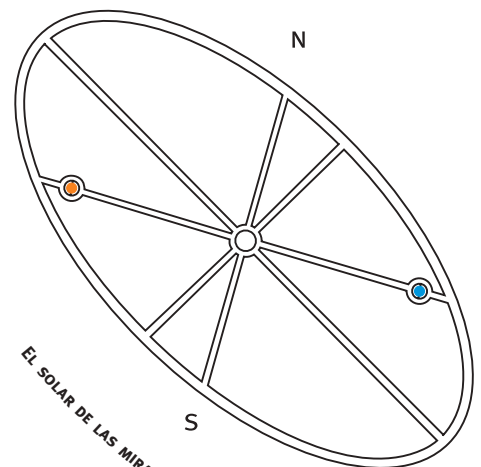
La tabla que representa una fracción del contorno del horizontal (tanto oriental como occidental) tiene 2,5cm de espesor, 250cm de largo y, en promedio, con 40cm de altura (sobre ésta se labra el horizonte visible).

Esta tabla está sostenida por dos postes de la misma madera, de sección cuadrada de 10cm de lado, 120cm elevados sobre el nivel de la base y separados uno del otro 190cm.

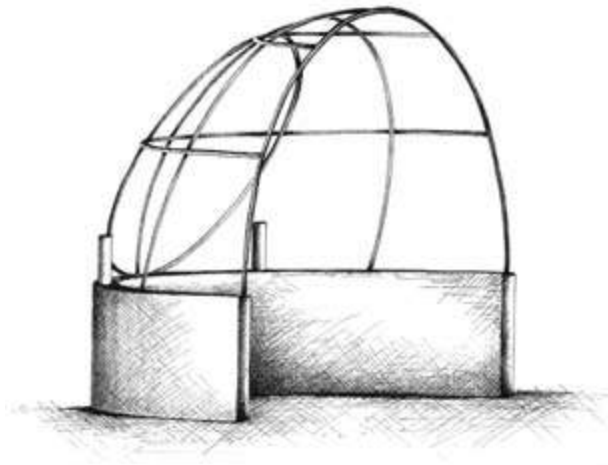
El modelo de Sol que desliza en estos artefactos es un disco también de anchico, tiene 2,5cm de espesor y 30cm de diámetro. Todos los materiales fueron tratados especialmente para soportar la intemperie.



Modelo de levante del Solar de las Miradas. Detrás se ve al Sol móvil en el banco de Libra.



mirador circumpolar





Un observador ubicado en cualquier sitio sobre la circunferencia del ecuador terrestre puede apreciar, simultáneamente, la mitad de las estrellas del hemisferio celeste norte y la mitad de las del sur.

Si pudiese observar durante 24 horas vería la totalidad de las estrellas posibles de distinguir a simple vista, aunque sólo la mitad en cada instante; en nuestro planeta ese lapso de observación a ojo desnudo no es posible porque durante el período diurno, la luz solar imposibilita la visión de las estrellas.

Un observador que se sitúe exactamente en el polo sur de la Tierra no verá ninguna estrella del hemisferio celeste norte; en cambio, tendrá una visión continua de todas las estrellas del hemisferio celeste sur. Algo análogo sucede con un observador ubicado en el polo norte.

En ese sitio tan particular, cualquiera de los polos terrestres, se tiene la impresión de que las estrellas describen trayectorias circulares paralelas al horizonte (almicantaradas).

El cielo visible en cualquier sitio ubicado entre el ecuador y el polo sur de la Tierra (por ejemplo en la ciudad de La Punta, San Luis<sup>1</sup>) corresponde al hemisferio celeste sur de la esfera celeste: allí un observador ve algunas estrellas del hemisferio celeste sur y otras del hemisferio celeste norte.



*El Mirador Circumpolar del Solar de las Miradas*

*1 - Este caso es el más común, la mayoría de las personas se haya en latitudes intermedias entre el ecuador y uno de ambos polos.*

Algo que también ve un observador en La Punta es que algunas estrellas se hallan siempre sobre el horizonte, es decir, no las verá jamás ni salir ni ponerse.

Son estrellas que no tienen levante ni poniente y se mueven en el cielo trazando una circunferencia alrededor del polo celeste sur. Esas estrellas se denominan *circumpolares*<sup>2</sup>.

Cuando se oculta el Sol y se hace la noche, las estrellas circumpolares ya están allí. Cuando acaba la noche y amanece, las dejamos de ver, pero ellas siguen girando alrededor del polo celeste sur durante todo el día.

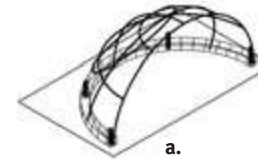
El *Mirador Circumpolar* que montamos en el Solar de las Miradas es un dispositivo semejante a la Cúpula de Cristal, pero que recorta la mirada del observador a sólo un sector de la esfera celeste, el que justamente contiene las estrellas circumpolares visibles en el hemisferio celeste sur.

El propósito de este dispositivo es similar al de la Cúpula referida, es decir, identificar algunas de las principales referencias geométricas usadas por los astrónomos para modelar el cielo.

Por su parte, se distingue de la Cúpula de Cristal en que permite identificar rápidamente los astros circumpolares y materializar los límites celestes de su movimiento aparente.

En su estructura de base se representa un sector del horizonte a cierta altura sobre el nivel del predio. Sobre la misma, mediante varillas de metal de forma circular, se dan forma a fragmentos de las principales circunferencias celestes, a saber:

- El *primer vertical*, que permite identificar los puntos cardinales este y oeste sobre el sector del horizonte materializado.
- El *meridiano del lugar*, que permite identificar el cenit del



a.



b.



c.

a. Vista perspectiva. b. Vista frontal. c. Vista lateral.

observador, la dirección del polo celeste sur y, sobre el horizonte, la del punto cardinal sur.

- El *arco diurno* que define el movimiento aparente de un astro no circumpolar, cuya inclinación respecto al horizonte coincide con la del ecuador celeste en el lugar.

Junto a estos elementos, este artefacto lleva incorporado un arco que llamamos *circunferencia circumpolar*, que materializa el sector de la esfera celeste donde se mueven las estrellas circumpolares.

<sup>2</sup> - Significa "estrellas que rodean al polo".

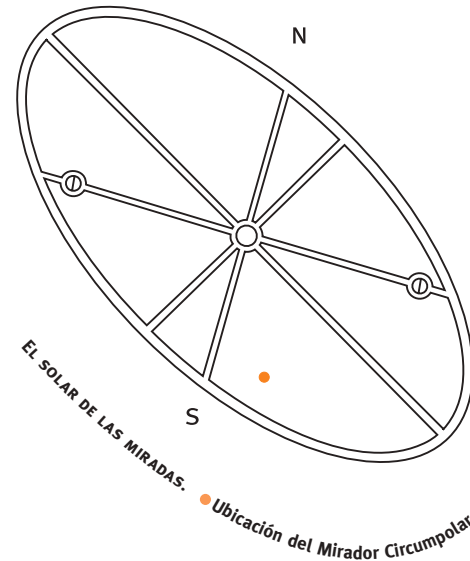
La circunferencia circumpolar está centrada en el polo celeste sur y su diámetro representa el límite de la declinación máxima para que una estrella sea considerada circumpolar, en el sitio de emplazamiento del *Solar de las Miradas*.

La inclinación de la circunferencia circumpolar del artefacto es semejante a la del arco diurno incluido en el dispositivo.

Además, el Mirador Circumpolar incluye dos almicantaradas: una definida por la altura del polo celeste sur<sup>3</sup> y otra que pasa por el límite superior de la circunferencia circumpolar, y dos mojones sobre la base del horizonte, que señalan las direcciones del levante y poniente del Sol en el solsticio de verano.

En la estructura montada en el Solar de las Miradas, se han usado caños de hierro macizo de 0.8cm de espesor y la base semicircular es de concreto y de 440cm de diámetro, de 20cm de altura y 20cm de ancho, dando una altura circular es de 220cm para el primer vertical. Todos los materiales fueron tratados especialmente para soportar la intemperie.

<sup>3</sup> - Su altura sobre el horizonte es igual a la latitud del lugar.



ventana al cielo



En ocasión de la instalación “Artes del Cielo”<sup>1</sup>, la artista Susana Consorte ubicó una ventana entre las copas de varios árboles. Los visitantes podían detenerse en un sitio especialmente indicado como mirador celeste y podían mirar el cielo por su cuadro.

Aquella ventana suspendida en el aire por finos alambres, fijaba una porción del cielo, permitía que el observador efectuase un recorte de su visión de la esfera celeste, en donde se hacía más perceptible el movimiento de las nubes, durante el día, y el desplazamiento de las estrellas o la Luna, durante la noche.

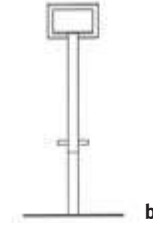
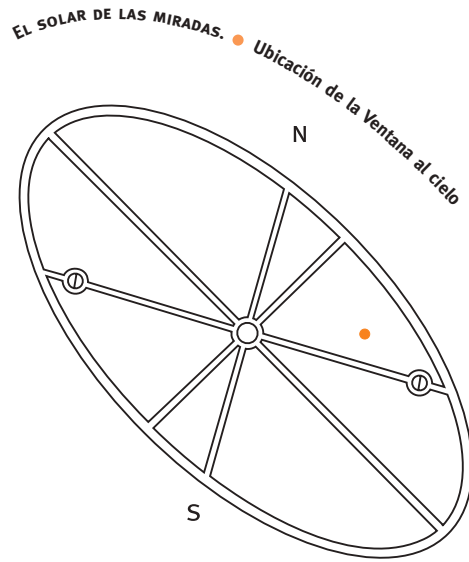
En el Solar de las Miradas hemos recreado la obra de Consorte ya que comprobamos que constituye un dispositivo de alto impacto, que brinda la oportunidad de ajustar la visión del cielo a un mínimo sector y en él reconocer formas, fragmentos de constelaciones, estimar y comparar distancias angulares, etc.

La ventana propiamente dicha está hecha con un marco rectangular de madera semidura (anchico) de 50cm de ancho y 40cm de alto, hecho con varillas cuadradas de 3cm de lado; el cuadro tiene una estructura interna, de hierro, para darle rigidez.

El cuadro está ubicado en el extremo superior de un poste montado vertical; el poste es cuadrado, también de anchico, de 10cm de lado.



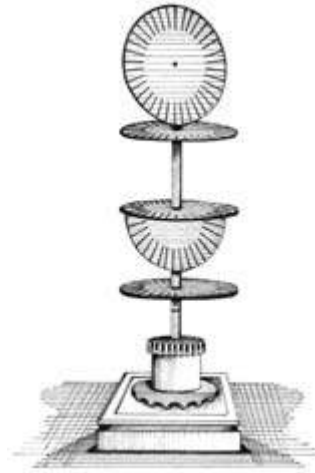
<sup>1</sup> - Mar del Plata, diciembre 2001 y enero, febrero y marzo del 2002.



a. Vista perspectiva. b. Vista frontal. c. Vista lateral.

El poste se halla encastrado en una base cuadrada, de cemento, de 150cm de lado. Un segmento del poste está fija y otro, a 65cm del nivel del piso, puede girar sobre si mismo 360°. Para moverlo, posee dos manivelas enfrentadas de 15cm de largo. Todos los materiales fueron tratados especialmente para soportar la intemperie.

rectangulus  
rectangulus



En el siglo XIII se usó un sofisticado instrumento llamado torquetum o turketum, característico de la astronomía medieval y de la tradición ptolemaica.

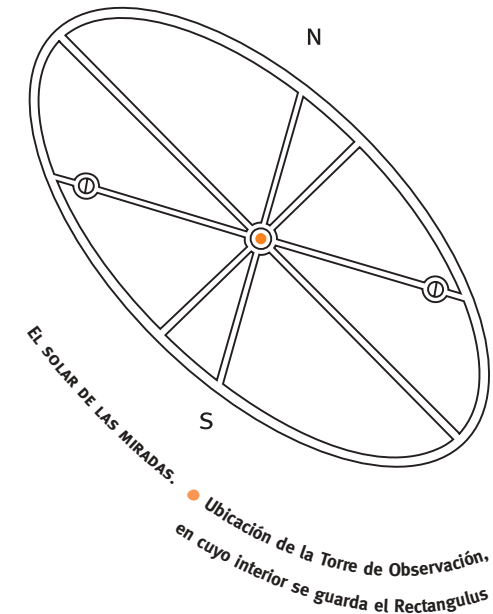
Su estructura se compone de una serie de tablas inclinadas, rotantes. La tabla inferior del torquetum se coloca sobre una especie de atril para poder ser inclinada de acuerdo a la latitud del lugar de observación y colocada en el plano del meridiano del lugar. Sobre esa tabla inferior articula otra que representa el plano de la eclíptica, colocada formando un ángulo de  $23,5^\circ$  respecto de la primera.

Esta segunda tabla lleva un par de círculos graduados, semejantes a los de un teodolito, con una alidada para observar.

La utilidad del torquetum era apreciada para realizar observaciones y estimaciones de diferentes coordenadas simultáneamente.

El rectangulus que incluimos en el Solar de las Miradas, es una versión esquemática del torquetum, inventada por el fabricante de relojes Riccardo de Wallingford, jefe de los astrónomos de Merton, en el año 1326.

El rectangulus forma parte de la colección de instrumentos de mano, guardados en la Torre de observación. Para su construcción empleamos bronce laminado de 1mm de espesor, hierro de 19mm por 1,2mm, y madera para la base.



Sus seis círculos (3 mayores y 3 menores) articulan en dos puntos con el eje central que atraviesa el sistema.

El diámetro de los tres círculos internos es de 15cm, mientras que el de los círculos externos es de 20cm. La varilla que representa el eje es de 30cm de longitud por 0,6cm de diámetro.



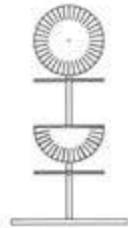


a.

a. Vista perspectiva. b. Vista frontal. c. Vista lateral.



b.

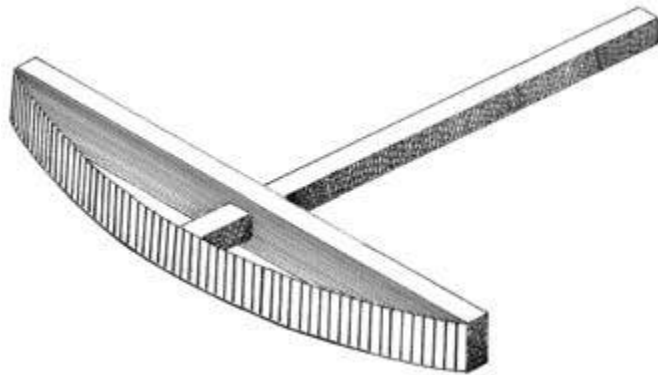


c.



Rectangulus del Solar de las Miradas

ballestilla  
ballestilla



Este instrumento recibió diversas denominaciones: *Palo de Jacob*, *Palo de Santiago*, *Radiómetro*, *Instrumento Matemático*, *Cruz Geométrica* y *Varilla de Oro*, entre otras.

Las Ballestillas se usaron para medir distancias angulares entre los astros o bien entre un astro y el horizonte.

Al observar dos astros desde la Tierra, nuestros ojos fijan el vértice de un ángulo cuya amplitud está dada por el arco subtendido entre las posiciones de ambos astros en la esfera celeste.

Con la Ballestilla fue posible materializar ese arco a través de una vara que fijaba las visuales de dos puntos de referencia, cuya distancia angular se buscaba determinar.

A pesar de algunas limitaciones en su construcción, derivadas de la dificultad que acarrea trazar una escala correcta en su estructura, las primeras ballestillas fueron instrumentos muy útiles ya que eran livianos, portátiles, ágiles para manipular y fáciles de usar.

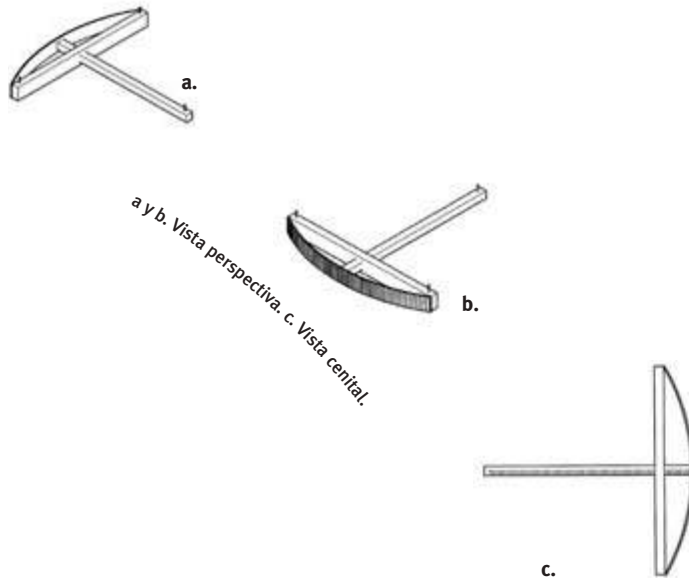
La Ballestilla, además, cualquiera sea el modelo, no necesita de soportes o plomadas, y puede usarse en cualquier lugar y en cualquier momento.



La Ballestilla del Solar de las Miradas

1 - En el hemisferio norte, muy cercana a la posición del polo celeste norte, hay una estrella denominada Polaris o estrella polar. La altura de esta estrella en cierto sitio es una buena medida de la latitud de dicho sitio.

2 - Rabi Levi ben Gerson o Ralbag o Gersónides, nacido en el sur de Francia, fue filósofo, astrónomo, matemático y comentarista de la Biblia, también se le conoce con los nombres de León de Bagnolas, León Hebreo, Maestro León. La referencia se halla en el tratado *De Sinibus, Chordis et Arcubus*, incluido en su obra *MilHamot Adonai (Combates del Señor)*. Algunos lo consideran el inventor del Palo de Jacob.



Quienes más difundieron el uso de las Ballestillas fueron los marinos europeos, a quienes les resultaba fundamental para la determinación de la latitud a la que se encontraban en el mar, por ejemplo, midiendo con la ballestilla la altura de la estrella polar<sup>1</sup> sobre el horizonte.

Un instrumento predecesor de la Ballestilla, conocido como *radio astronómico*, se empleaba en el siglo XIV en ciertos problemas de topografía, astronomía y, más tarde, también fue incorporado por los navegantes.

Así, las primeras Ballestillas no medían ángulos en forma directa como el astrolabio o el cuadrante, sino por su tangente o bien por la tangente de su mitad.

Una de las descripciones más antiguas halladas de una Ballestilla es de 1342 y fue hecha por el sabio Levi ben Gerson<sup>2</sup> (1288-1344). Se conoce que se usaban ballestillas en épocas de Cristóbal Colón, aunque su uso se impuso y generalizó durante el siglo XVI.

La Ballestilla se trata de una cruz con dos brazos de diferente longitud:

- brazo mayor, también llamado virote o flecha, y
- brazo menor, también llamado sonaja o martillo

Generalmente, ambos brazos estaban hechos con varas de madera de sección cuadrada.

En las más antiguas Ballestillas, sobre la flecha estaba marcada una escala en unidades sexagesimales. Esas divisiones no estaban separadas por distancias iguales: para ángulos muy pequeños las divisiones iban muy juntas y, para ángulos grandes, algo más separado.

A través de un orificio en el martillo, éste puede deslizarse sobre la flecha, conservando ángulos rectos entre ambos brazos. De

esta forma, un observador puede mover el martillo hasta que sus extremos oculten los objetos cuyo ángulo se desea medir (por ejemplo, el horizonte y una estrella) o bien, apuntando la flecha al horizonte, acerca o aleja la sonaja hasta que oculta al astro cuya altura desea medir.

Cuanto mayor era el ángulo a determinar, más había que acercar el martillo al ojo del observador, y viceversa, cuanto menor el ángulo, más lejos se colocaba la sonaja.

Por definición la Ballestilla no puede medir ángulos de  $0^\circ$  ni de  $90^\circ$ ; en el primer caso habría que alejar el martillo a una distancia infinita y, en el segundo, ponerla en contacto con la pupila, con lo cual el ojo del observador correría cierto riesgo. Así, en general, se la usaba con astros ubicados en alturas intermedias entre esos dos valores.

En algunas Ballestillas, sobre las cuatro superficies de la vara cuadrada de la flecha, se hacían cuatro graduaciones diferentes y correspondientes a cuatro martillos desiguales; todos esos martillos deslizaban por la misma flecha, pero a cada uno le correspondía un de las superficies del brazo principal.

Cuanto menor tamaño tenía el martillo, tanto mayor número de tangentes o graduaciones podía contener la longitud de la flecha.

En ocasiones las Ballestillas contaban con otra pieza, llamada martinete, que servía para dirigir por ella las visuales por los extremos del martillo, por ejemplo, una al horizonte y otra al astro.

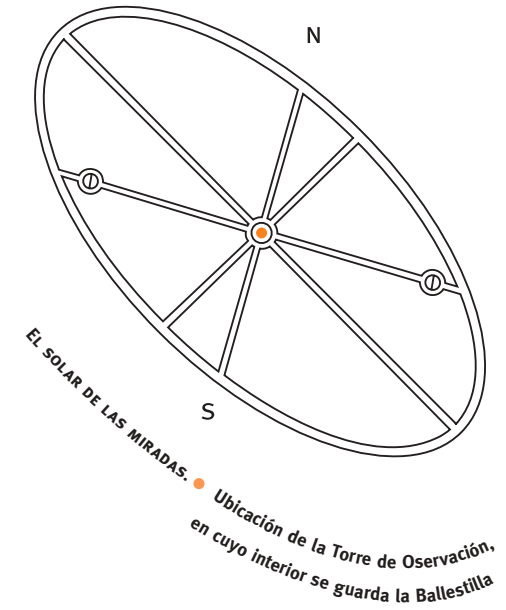
Lanciano (2002) resume el uso de la Ballestilla para medir:

- Distancias entre la Tierra y el cielo. Por ejemplo, calcular la altura del Sol, la altura de la Luna en alguna de sus fases, seguir la variación de la distancia angular de alguna estrella a medida que se aleja o se acerca al horizonte, etc.
- Distancias entre las estrellas. La distancia angular entre las estrellas no cambia. Una vez determinada se mantienen igual en el tiempo, razón por la cual se las llama estrellas fijas.
- Distancias entre el Sol y la Luna. La variación de la distancia angular entre el Sol y la Luna puede ser confrontada fecha tras fecha.
- Distancias entre la Luna y las estrellas. Se puede medir la distancia angular entre la Luna y algunas de las estrellas de las constelaciones del Zodíaco. De esa forma es posible darse cuenta, prever y seguir las posiciones de la Luna a lo largo de la eclíptica.
- Distancias entre los planetas. Para seguir las posiciones relativas de un planeta con otro, o con respecto a una estrella del Zodíaco, son necesarios largos tiempos de observación.



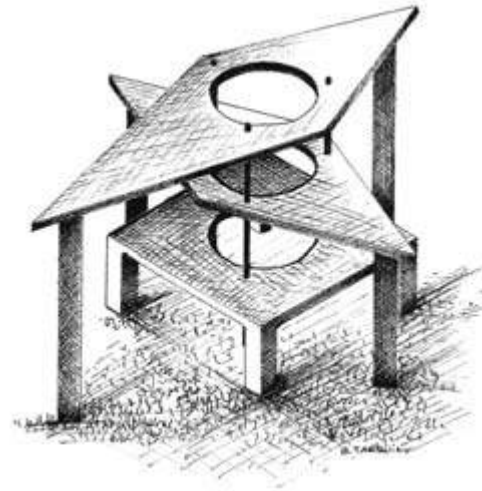
La ballestilla que incluimos en el Solar de las Miradas, forma parte de la colección de instrumentos de mano que se guardan en la Torre de Observación. Se trata de un modelo simple que consta de una flecha de 57,3cm y un martillo de la misma longitud. Se escoge ese tamaño dado que sobre un círculo de 360cm de circunferencia, 1cm corresponde a un ángulo en el centro de  $1^\circ$ , el radio R de esa circunferencia es de  $R = 360\text{cm} / 2\pi$ . Por lo tanto,  $R = 57,3\text{cm}$ .

Ambas piezas se cruzan perpendicularmente a 7,6cm de uno de los extremos de la flecha<sup>3</sup>. También incluimos una varilla flexible, que una el extremo de la flecha y ambos extremos del martillo; dado que ubicamos el martillo perpendicular a la flecha, la varilla flexible adquiere una forma curva.



<sup>3</sup> - El martillo, en cuanto representa uno de los lados de un triángulo equilátero, debe ser idéntico al radio del círculo y, por lo tanto, tener una longitud de 57,3cm. Dado que la altura de ese triángulo es resulta 49,7, la distancia donde debe ubicarse el martillo es a 7,6cm del extremo de la flecha (57,3 - 49,7).

# rosa de los vientos





La Rosa de los Vientos es un esquema que indica las direcciones fundamentales para la orientación espacial: la línea sur-norte y la línea este-oeste.

Con ellas, quedan determinados también los cuatro puntos cardinales: norte, sur, este y oeste; generalmente, también se incluyen direcciones intermedias, como nordeste, noroeste, sudeste y sudoeste.

Este dispositivo, presente en muchos mapas y en todas las brújulas magnéticas, debe su nombre a los antiguos griegos, quienes creían que de cada dirección provenía una deidad-viento diferente:

- Bóreas era el viento del norte que traía el frío del invierno; se trataba de un dios violento.
- Noto era el viento del sur, caluroso y húmedo, que traía las tormentas de fines del verano y del otoño; Noto fue llamado Austro por los romanos.
- Céfito era el viento del oeste y era una brisa suave que anunciaba la primavera y el principio del verano;
- Euro. En “La Odisea”, Homero lo considera un “viento favorable”. Euro era el viento del este, no asociado a las estaciones, pero traía calor y lluvia.

La Rosa de los Vientos del Solar de las Mitradas



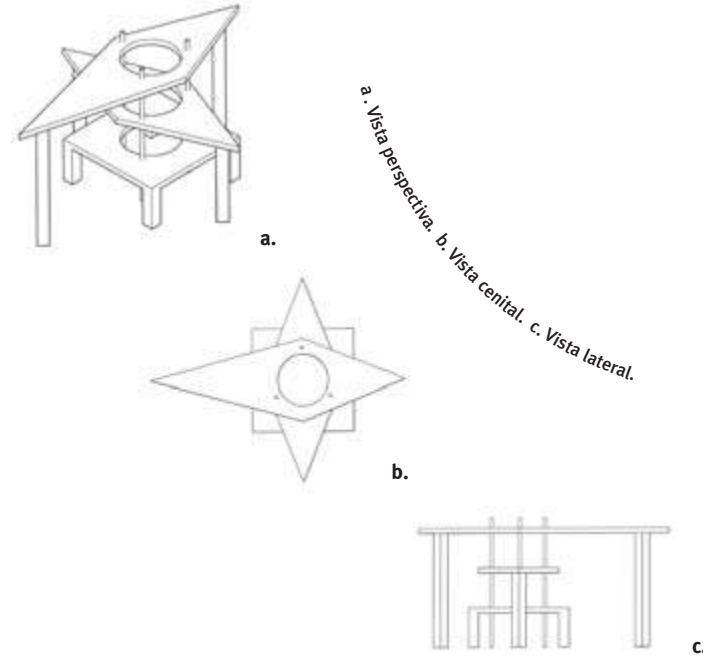
La Rosa de los Vientos que montamos en el Solar de las Miradas está compuesta de dos piezas con forma de romboide: una indica la dirección norte-sur y la otra, la este-oeste. Esas piezas se han montado paralelas y superpuestas una a la otra; la base del instrumento y cada una de sus piezas materializan un horizonte diferente. Se dejó cierta separación entre los romboides y en el centro de la estructura se ha hecho un orificio; fue pensada para que una persona pueda subir al artefacto y colocarse dentro del mismo.

En otras palabras, la Rosa de los Vientos del Solar de las Miradas invita a que el visitante forme parte de la misma y pueda visualizar las direcciones cardinales desde su interior.

Las piezas principales son dos tablas de madera (zoita) cortadas en forma de romboide, una con su eje mayor de 250cm de largo (marca la dirección norte-sur) y otra de 200cm de largo para su eje mayor (marca la dirección este-oeste). Ambas se hallan superpuestas y separadas de una base cuadrada, de 100cm de lado (marca las direcciones cardinales intermedias).



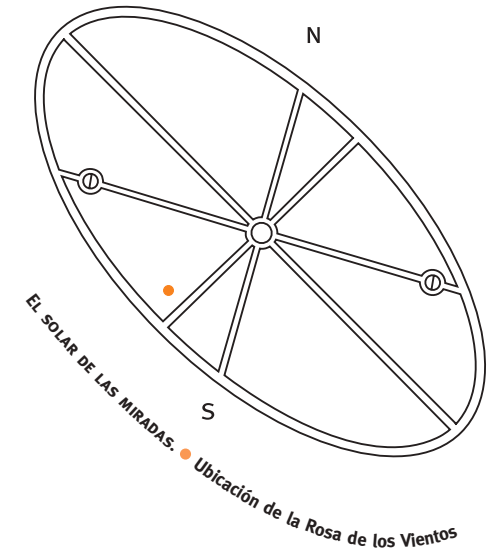
Vista inferior de la Rosa de los Vientos.



La tabla norte-sur se ha colocado a 120cm de altura, la este-oeste a 80cm y, finalmente, la base cuadrada a 40cm del piso. En la sección que se superponen, se ha hecho un orificio circular de 50cm de diámetro.

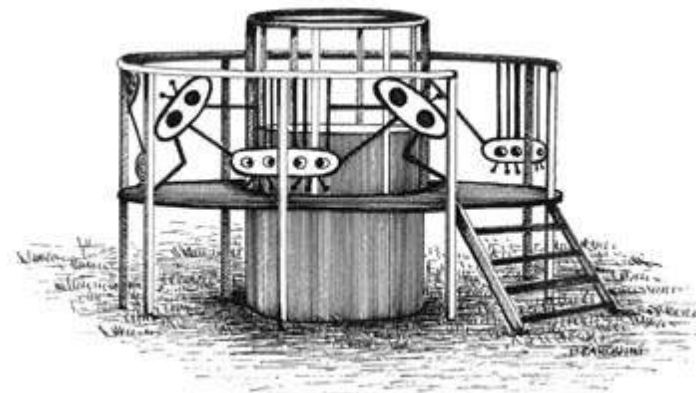
Los postes que sostienen las tablas son de madera semidura (anchico), de sección cuadrada de 10cm de lado. Por último, las varas de sostén son de hierro macizo de 130cm de largo y 2,5cm de diámetro.

Todos los materiales fueron tratados especialmente para soportar la intemperie.



Visión nocturna de la Rosa de los Vientos.

nefoscopio  
nefoscopio



1 - Uno de los primeros nefoscopios utilizados en meteorología se debe a Filippo Cechi (1822-1887), en 1859.

2 - En algunos nefoscopios, las octas eran trazadas por medio de hilos dentro de un retículo.

3 - Se considera un cielo cubierto si se apreciaba 8/8 (ocho octavos de cielo con nubes), un cielo nublado 6/8, un cielo medio nublado en 4/8, cielo poco nublado en 2/8 y un cielo despejado en 0/8.

Cerca de la superficie terrestre, la dirección y velocidad del viento experimentan cambios debidos a diferentes obstáculos, como árboles, montículos y edificios. Por esa razón, los meteorólogos idearon instrumentos para obtener información acerca del viento a mayores alturas; uno de ellos es el Nefoscopio<sup>1</sup>.

Su denominación deriva de la palabra griega *nepfos* que significa nube.

Con este artefacto se observan las nubes en movimiento con el fin de determinar la dirección del viento que las impulsa, en las capas superiores de la atmósfera.

Un procedimiento habitual es primero dividir el cielo en ocho partes iguales, cada una de las cuales se denomina *octa* o *octavo*<sup>2</sup>; también se denomina octa a la medida de la nubosidad y que se corresponde con la octava parte de la esfera celeste. Por la cantidad de nubes que se apreciaban en cada una de las octas, se definía la nubosidad del cielo (cubierto, parcial o despejado<sup>3</sup>).

Con el Nefoscopio se determina también la dirección y velocidad aparente del movimiento de las nubes, midiendo, a su vez, el tiempo que tardan en pasar por entre las octas.

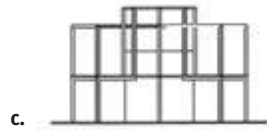
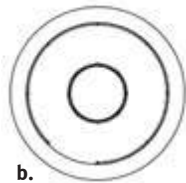
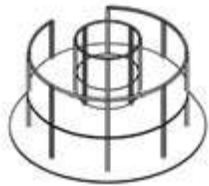


El Nefoscopio del Solar de las Miradas

En el espejo interior del tubo del Nefoscopio, se refleja el cielo y también los rostros de los curiosos.



a. Vista perspectiva. b. Vista cenital. c. Vista lateral.

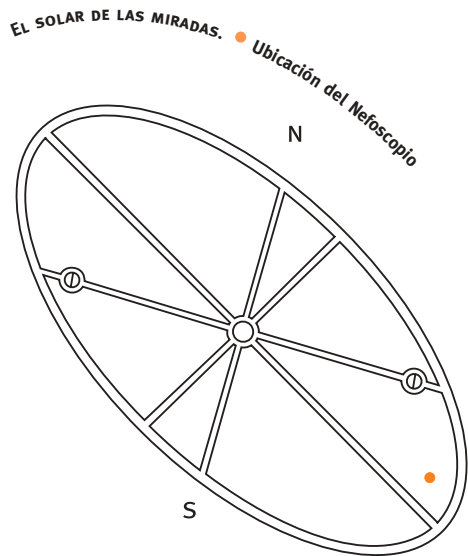


El funcionamiento básico de un Nefoscopio radica en la observación del cielo, por reflexión, sobre un espejo; el observador conoce las direcciones cardinales y las utiliza para definir las divisiones en octas del espejo.

En la actualidad, los Nefoscopios son, en general, piezas de museo, ya que la velocidad y dirección del viento, como la nubosidad, se miden por medio de otro tipo de instrumentos, más objetivos y precisos.

Aunque no se trata de un instrumento astronómico y mucho menos un artefacto pretelescopico, incluimos un Nefoscopio para evocar este antiguo y peculiar modo de indagación del cielo por reflexión, que orientó la mirada de miles de observadores por mucho tiempo.

En la estructura que le dimos al Nefoscopio del Solar de las Miradas, además, pretendemos que los visitantes no sólo se aproximen al método usado por los primeros meteorólogos, sino también que recreen la visión del cielo reflejado en su espejo para percibir, por ejemplo durante una visita nocturna, el movimiento aparente de las estrellas.



La pieza principal de nuestro nefoscopio es un tubo metálico de sección cilíndrica, de 100cm de diámetro, en cuya base se halla instalado un espejo circular de cristal. El tubo tiene una altura de 100 cm. Cerca de su borde superior se construyó un balcón circular de 75cm de ancho y a unos 60cm de la base. Tanto el borde del tubo como el del balcón tienen barandas de protección.

Los visitantes pueden subir al balcón del Nefoscopio y abrir mecánicamente las puertas que cubren al espejo, para hacerlo visible; inclinándose sobre la barandilla del tubo, es posible observar el cielo reflejado. Toda la estructura fue construida en acero laminado y caño cuadrado de diferentes medidas. Finalmente, los materiales del Nefoscopio fueron tratados especialmente para soportar la intemperie.

esfera armilar  
esfera armilar



La Esfera Armilar del Solar de las Miradas

El mismo nombre de este artefacto da cuenta que efectivamente se trata de una esfera materializada a través de algunos pocos anillos.

Se trata de un antiguo instrumento, presumiblemente griego, cuya función original era representar los círculos máximos de referencia celeste con los cuales es posible conocer la posición y el movimiento de los astros. Algunos historiadores consideran que fue inventada en el año 255 a.C. por el astrónomo Eratóstenes.

En general, se la utilizaba para enseñar astronomía, para comprender el movimiento aparente de las estrellas fijas y los planetas, hacer algunos cálculos de geometría esférica y advertir la posición de los astros en diferentes épocas.

Se conoce como instrumento didáctico desde el siglo III a.C., mientras que su utilización para predecir observaciones se le atribuye a Hiparco y Tolomeo.

Durante la Edad Media, las esferas armilares se convirtieron en instrumentos muy populares entre los astrónomos. Tycho Brahe, en particular, montó varias, de gran tamaño, en sus observatorios de Hven.





El auge de las esferas armilares comenzó a declinar hacia el año 1600.

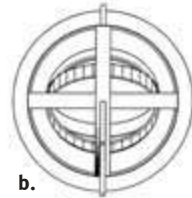
Representaba el sistema tolemaico que ubica la Tierra en el centro del universo; el planeta se materializaba con una esfera de marfil o madera. En general se construían por un cierto número de anillos insertos uno en el otro, los que representan al ecuador celeste, la eclíptica, el horizonte, el meridiano del lugar, entre otros círculos de referencia.

Cada fragmento eclíptico que representaba una constelación del Zodíaco se dividía en  $30^\circ$  en el anillo horizontal; esto hace posible estimar la posición del Sol en la eclíptica en cada época del año y en cualquier sitio de la Tierra.

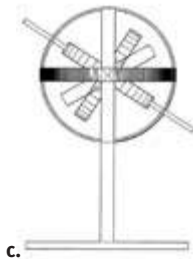
De este modo, dirigida la Esfera Armilar hacia un astro, se puede identificar su posición en el cielo y, en algunos modelos<sup>1</sup>, hasta estimar el valor de algunas coordenadas celestes, a leer la proyección de su posición sobre unas escalas graduadas. Se usaban para explicar las estaciones del año y otros elementos de astronomía de posición y mecánica celeste.



a.



b.



c.

a. Vista perspectiva. b. Vista cenital. c. Vista lateral.

<sup>1</sup> - En cierto modelo, en el que el eje de la esfera armilar representa al eje del mundo, su sombra sobre una escala graduada grabada en el anillo que representa el ecuador celeste, permitía determinar el tiempo solar verdadero.

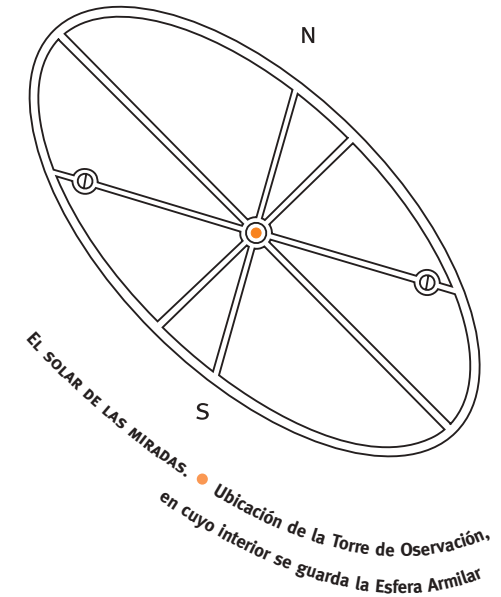
El anillo meridiano que une los dos polos se graduaba de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  en los cuatro cuadrantes para indicar la latitud. Con él rotaba la esfera celeste, formada por los círculos polares (ártico y antártico), los trópicos (Cáncer y Capricornio) y la eclíptica que tenía las constelaciones zodiacales grabadas.

La Esfera Armilar que incluimos en el Solar de las Miradas, forma parte de la colección de instrumentos de mano que se guardan en la Torre de Observación.

En nuestro artefacto los tres círculos internos tienen un diámetro de 15cm, mientras que el de los tres externos es de 20cm.

La varilla que representa el eje del mundo es de 30cm de longitud y tiene 0,6cm de diámetro. Los seis círculos articulan en dos puntos con esta varilla.

Los materiales empleados fueron planchuelas de hierro de 19mm por 1,2mm, y láminas de bronce de 0,5cm de espesor.



tubos para mirar



Se han hallado cierto número de ilustraciones en los manuscritos medievales mostrando al astrónomo observando los astros a través de un largo tubo que sostiene en la mano o bien lo sujeta a un pie vertical.

Aunque esas ilustraciones<sup>1</sup> despierten la sospecha que el instrumento en cuestión sea efectivamente una especie de primitivo telescopio<sup>2</sup>, los historiadores de la ciencia y la tecnología consideran que los indicios al respecto son débiles y dudosos simplemente por la gran improbabilidad de que el telescopio halla sido creado en tiempos tan remotos.

En el análisis de esas ilustraciones, los investigadores han diferenciado dos grupos de Tubos para Mirar, a saber:

#### Tubos de sostén

Estas ilustraciones refieren a un texto de Gerberto (el Papa Silvestre II, 999-1003) en un manuscrito de San Gallo del año 982.

El instrumento está presentado como un artefacto usado para identificar y observar el polo celeste elevado. Dado que es originario del hemisferio norte, se ve que al tubo dirigido a la estrella polar por un maestro, de modo que sus alumnos pueden ver y aprender sin error de cuál estrella se trata.

#### Tubos manuales

El segundo grupo de miniaturas se trata de tubos que no están apoyados en ningún sostén, por lo que difícilmente hayan tenido la misma utilidad que los anteriores.

Desafortunadamente no se ha encontrado ningún texto que describa un instrumento similar.

Tal vez esos tubos servían para concentrar los rayos de luz de las estrellas, una idea acorde con los conceptos ópticos aristotélicos, dominantes en la época. Además, en algunas ilustraciones el tubo era sustituido por una “varita mágica”, coherente con la idea de astrónomo-mago.

*1 - En general se trata de pequeñas imágenes, miniaturas, que acompañan los textos astronómicos.*

*2 - Es decir, un tubo con lentes en sus extremos.*

Tubo para Mirar el Sol de las Miradas



a.



b.



c.

a. Vista perspectiva. b. Vista frontal. c. Vista lateral.

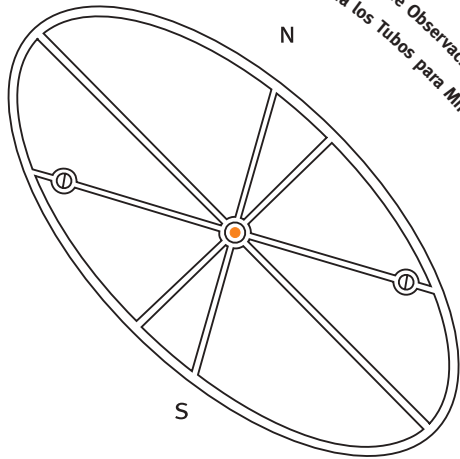
En el Solar de las Miradas hemos incluido un Tubo para Mirar de cada tipo, entre los instrumentos de mano que se guardan en la Torre de Observación. Los visitantes pueden usarlos para dirigir su mirada a un único astro.

Construimos el Tubo manual con un caño cilíndrico de 2,5cm de diámetro y 80cm de longitud; hemos colocado en sus extremos un terciopelo para que el apoyo contra la cara del observador resulte suave y cómodo.

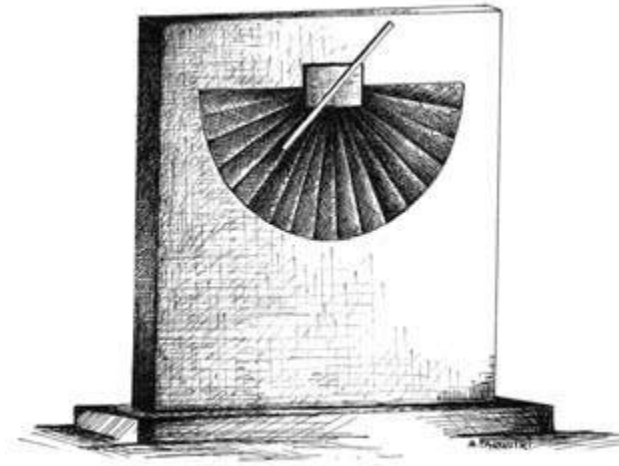
Por su parte, el Tubo de sostén tiene las mismas dimensiones que el anterior, pero se halla montado sobre un pie metálico, mediante un herraje que permite su movimiento y ajuste vertical.

El pie de sostén consta de un eje vertical, de 170cm de altura, que acaba en un trípode.

EL SOLAR DE LAS MIRADAS. ● Ubicación de la Torre de Observación en cuyo interior se guarda los Tubos para Mirar



# instrumento de pasos



El Instrumento de Pasos que montamos en el Solar de las Miradas fue construido sobre la pared libre del Plinto de Tolomeo.

Está compuesto de un muro vertical de 20cm de ancho, 180cm de altura y 180cm de largo, sobre el cual se ha grabado un medio círculo de 140cm de diámetro.

El diámetro de ese semicírculo se halla a 30cm del borde de la pared.

En su punto medio se halla un herraje en el que pivota la vara que se utiliza como visor en la observación; la vara articula en su punto medio. Esa vara es de madera y tiene una longitud de 80cm. Se trata de un listón cuadrado, de 2,5cm de lado.

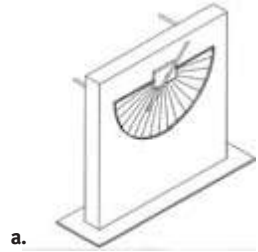
En toda su extensión tiene una caladura semicircular de 1cm de diámetro.

Todos los materiales fueron tratados especialmente para soportar la intemperie.





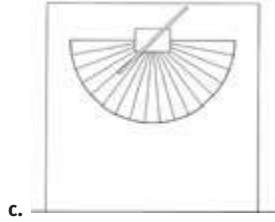
a. Vista perspectiva. b. Vista cenital. c. Vista frontal.



a.

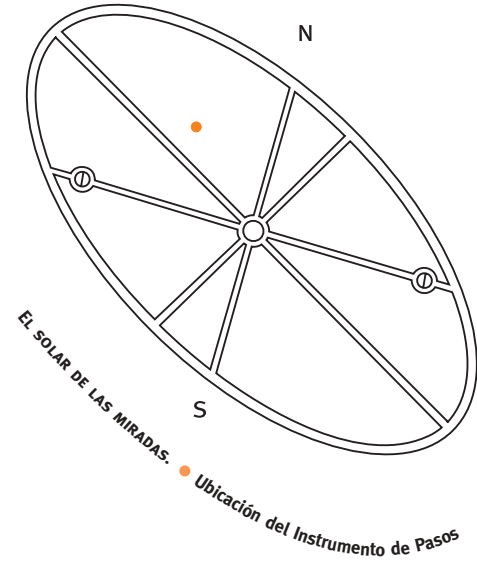


b.



c.

Detalle del cuadrante del Instrumento de Pasos, el que tiene diferentes tonalidades en intervalos de 10°.



# postes de direcciones



Este sencillo dispositivo es uno de los tantos inventados por Lanciano, de Roma. En particular, como instrumento didáctico, los desarrolló durante un curso de actualización docente realizado en Guarneri (Sicilia, Italia) en 1997, como complemento de su trabajo con el globo terráqueo paralelo.

Sobre un poste vertical se establece primero la posición del sitio donde será emplazado. Por ejemplo, para la latitud donde se halla el Solar de las Miradas, se escoge un punto del poste aproximadamente igual a de su altura. Los sitios con latitudes más al sur estarán ubicados más altos sobre el poste; análogamente, los sitios más al norte, en puntos más bajos.

La dirección de las localidades escogidas se materializa por medio de una flecha.

La inclinación de las flechas respecto al poste vertical, es siempre hacia abajo, con un ángulo respecto al horizonte cada vez mayor a medida que aumenta la latitud respecto del lugar donde está emplazado el poste. Como caso extremo, la dirección de un punto en las antípodas del Solar de las Miradas se materializa con una flecha colocada hacia abajo a lo largo del poste vertical.

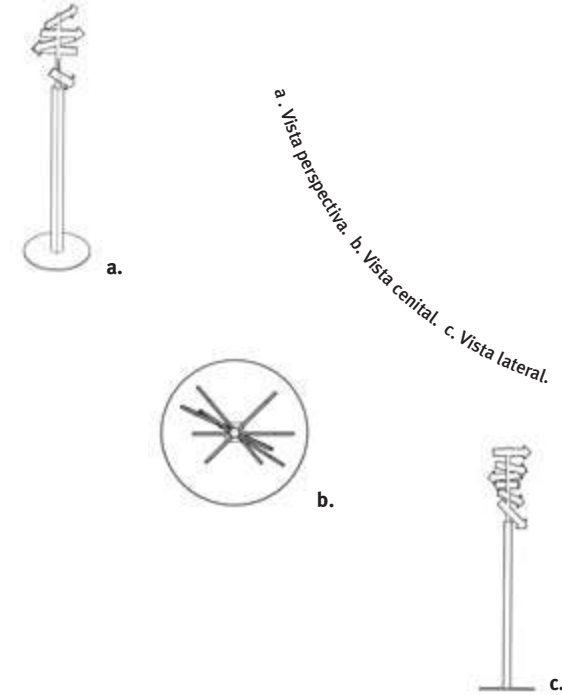
Por último, la dirección de la flecha, es decir, del sitio escogido, se mide en forma angular respecto a la dirección meridiana.

Poste con las direcciones de algunas ciudades de Argentina



En el Solar de las Miradas, incluimos los siguientes postes, que marcan:

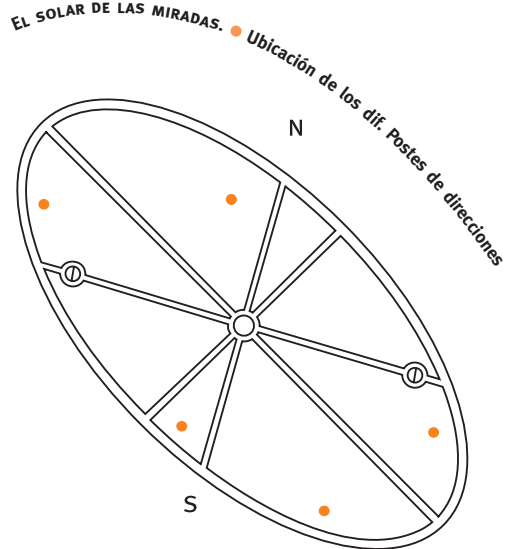
- Direcciones de algunas localidades de la Provincia de San Luis: Arizona, Villa Mercedes, San Luis (capital), San Jerónimo, La Toma, Villa de la Quebrada, Carolina, Villa General Roca, San Francisco del Monte de Oro, Merlo y Candelaria.
- Direcciones de las siguientes ciudades de Argentina: La Quiaca (Jujuy), Ushuaia (Tierra del Fuego), Puerto Madryn (Chubut), Mar del Plata (Buenos Aires), Santa Fe (Santa Fe), Viedma (Río Negro), Formosa (Formosa) y la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (Capital Federal) y la Base Comodoro Marambio, en la zona antártica.



- Direcciones de las siguientes capitales latinoamericanas: Brasilia (Brasil), Montevideo (Uruguay), Santiago (Chile), Caracas (Venezuela), México (México), Asunción (Paraguay), La Paz (Bolivia), Lima (Perú), Quito (Ecuador) y Bogotá (Colombia).
- Direcciones de algunas ciudades del mundo: Madrid (España), Roma (Italia), París (Francia), Beijing (China), Tokio (Japón), Sydney (Australia), El Cairo (Egipto), Johannesburgo (Sudáfrica), Nueva York (Estados Unidos) y Greenwich (Inglaterra).

Poste con las direcciones de algunas localidades de la provincia de San Luis.

- Direcciones de algunos observatorios astronómicos de nuestro país: Estación de Río Grande (Tierra del Fuego), Observatorio Astronómico de La Plata (Buenos Aires), Observatorio Nacional de Córdoba (Córdoba), Observatorio Municipal de Rosario (Santa Fe), Observatorio de Mercedes (Buenos Aires), Observatorio Naval Buenos Aires (Ciudad Autónoma de Buenos Aires), Estación Astrofísica Bosque Alegre (Córdoba), Estación de Altura “Ulrico Cesco” (San Juan), Observatorio Astronómico “Félix Aguilar” (San Juan), Instituto Argentino de Radioastronomía (Buenos Aires), Complejo Astronómico El Leoncito (San Juan).

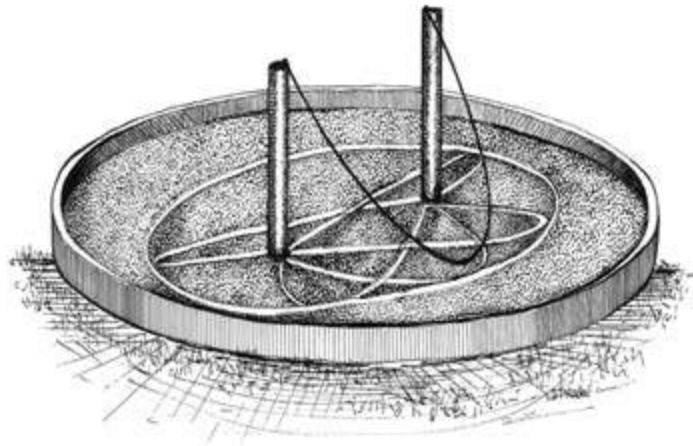


A estos postes, se le suman cuatro, que denominamos Postes Cardinales, que señalan las direcciones de los puntos cardinales.

Fueron construidos con madera semidura (anchico). Todos los postes tienen 250cm de altura y sus carteles indicadores son de 20cm de altura, 1,9cm de espesor y 50cm de largo. Todos los materiales fueron tratados especialmente para soportar la intemperie.



# elipse del jardinero



Se trata de un simple dispositivo para que el visitante pueda percibir y construir la figura de una elipse.

Reproduce el llamado *método del jardinero*, llamado así porque siglos atrás fue un procedimiento habitual para dar esa forma a los canteros con flores. Se trata de un par de postes separados cierta distancia uno del otro; cada uno de ellos es uno de los focos de la elipse a construir.

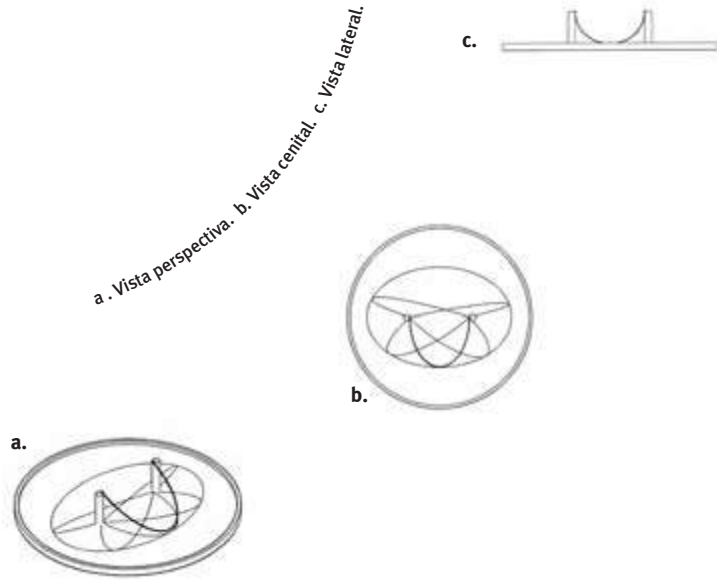
A cada poste se atan los extremos de una cuerda, de extensión tal que permite a un visitante mantenerla tirante a cierta distancia de la línea de unión de los postes. Moviéndose alrededor de los postes, hacia un lado y otro de la línea que los une, manteniendo tirante la cuerda, se puede trazar caminando, en un piso de arena, la figura de una elipse.

Construimos un cordón de cemento de sección cuadrada, con 20cm de lado. Ese cordón es el contorno de un espacio circular de 300cm de diámetro.

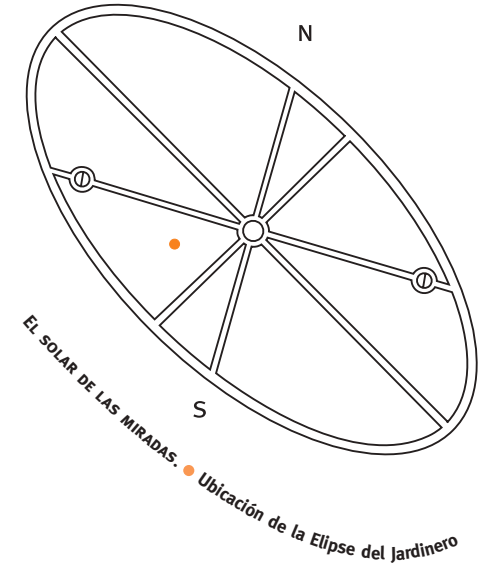
Dentro de ese espacio, cubierto de arena, se han colocado dos postes cuadrados de madera semidura (anchico) de 10cm de lado y 40cm de altura sobre el nivel del piso. Todos los materiales fueron tratados especialmente para soportar la intemperie.

El lazo usado en el trazado de la elipse es una sogá común, que se guarda en la Torre de Observación para evitar su deterioro.





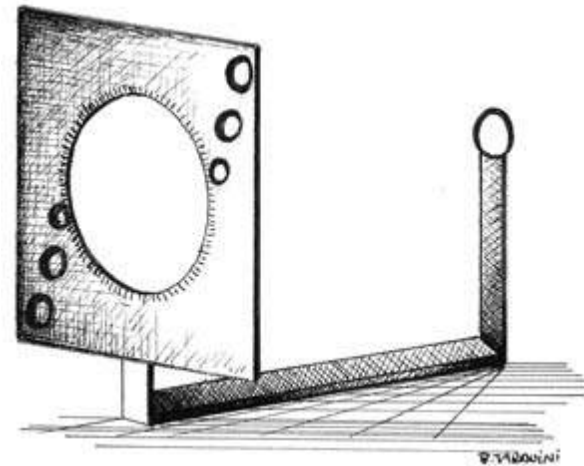
a. Vista perspectiva. b. Vista cenital. c. Vista lateral.



La traza de la figura la hace el visitante tomando la cuerda, estirándola y moviéndose entorno a los postes (focos de la elipse). Con cuerdas de diferente longitud, se forman distintas elipses.



# contador de estrellas



Aunque el cielo de una noche estrellada nos genere la sensación de estar viendo millones de astros, en realidad la cantidad de estrellas visibles en toda la esfera celeste no supera las 10.000, de las cuales aproximadamente la mitad pertenece a cada hemisferio.

Llamamos *Contador de Estrellas* a un pequeño y sencillo dispositivo que permite hacer una estimación del número de estrellas visibles.

Se trata de una máscara plana con un orificio de 12cm de diámetro.

Ubicada la máscara siempre a la misma distancia de los ojos, en este caso 30cm, el observador mira el cielo a su través, contando las estrellas visibles por su orificio. Luego, repite la operación diez veces en diferentes direcciones sobre la esfera celeste.

Finalmente, suma todas las estrellas que ha contabilizado en cada observación y multiplica el resultado por 10.

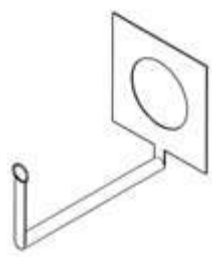
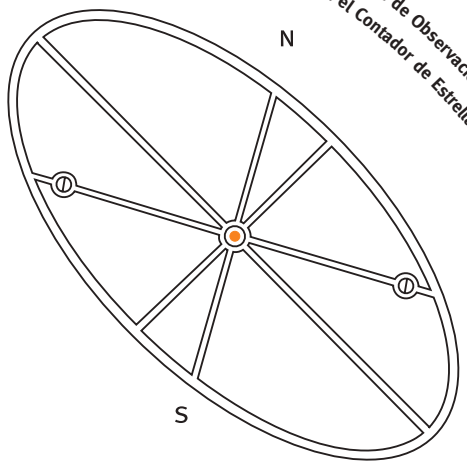
El número obtenido se aproxima al de las estrellas visibles en el sitio escogido para la experiencia y en la época en que se haga.

Se trata de una tabla de madera de pequeño espesor, con un orificio de 12cm. Cerca de uno de sus bordes hay una varilla de 30cm con una pequeña mirilla, por donde mirar.

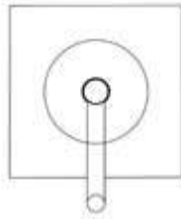


Contador de Estrellas del Solar de las Miradas

EL SOLAR DE LAS MIRADAS. ● Ubicación de la Torre de Observación,  
en cuyo interior se guarda el Contador de Estrellas



a.



b.

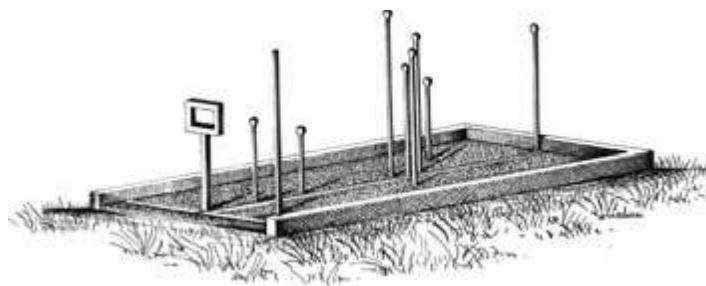


c.

a. Vista perspectiva. b. Vista cenital. c. Vista lateral.



# constelaciones dinámicas



Desde la antigüedad, las personas han imaginado figuras en el cielo, delimitadas o construidas uniendo imaginariamente las posiciones de las estrellas; esas siluetas estelares se denominan *constelaciones*.

Para un observador terrestre, según el modelo geométrico más aceptado del cielo, las estrellas aparecen proyectadas sobre la superficie interna de una esfera celeste y, por ende, todas parecen ubicadas a la misma distancia del centro, materializado por el mismo observador<sup>1</sup>.

Por otra parte, dos estrellas que se ven muy juntas, es probable que no lo estén en realidad; puede que una se halle muy lejos de la otra y que, por un efecto de perspectiva, vistas desde la Tierra, parezcan astros vecinos.

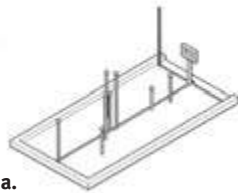
En otras palabras, las distancias estelares que observamos son aparentes, la mayoría de las estrellas visibles están muy lejanas de nuestro planeta y también entre sí.

Dado que en la actualidad se conocen las distancias a las que se encuentran las estrellas que componen las constelaciones, es posible ubicar pequeñas esferitas que las representen en un espacio adecuado, tridimensional, debidamente graduado con una escala de distancias (por ejemplo, en años luz), de modo que se puedan apreciar sus distancias mutuas reales, tanto como la lejanía de cada una de la Tierra.



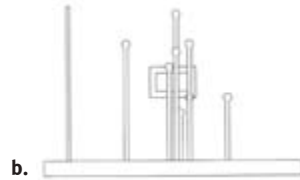
<sup>1</sup> - Una distancia igual al radio de la esfera celeste.

2 - Quien tenga la posibilidad de observar este grupo de estrellas desde ambos hemisferios, notará que las posiciones de sus estrellas se verán invertidas en una y otra posición.



a.

a. Vista perspectiva. b. Vista frontal. c. Vista lateral.



b.



c.

Así dispuestas, ubicando una pequeña ventana a modo de visor en el punto de referencia terrestre, a través del mismo puede reconstruirse la imagen de la constelación representada. Tal dispositivo, al que hemos denominado constelación dinámica, permite modelar la profundidad del cielo estrellado.

En el Solar de las Miradas hemos construido dos de estos dispositivos, correspondientes a dos constelaciones muy conocidas: Orión y la Cruz o Cruz del Sur.

### Orión

Es una de las constelaciones más conocidas y formada por un grupo de estrellas que tuvo diferentes aspectos para distintas culturas antiguas.

El nombre actual se debe a la mitología griega, ya que Orión era un gigante cazador que protagonizó varias proezas. Su figura es la de un hombre con la piel de un león en su mano derecha y un garrote en la izquierda.

Su cinturón, formado por tres brillantes estrellas, es conocido popularmente como “Las Tres Marías”.

Orión es una constelación típica de las noches del verano austral. Como su figura de estrellas se halla sobre el ecuador celeste (cruzando precisamente a Las Tres Marías) es visible para observadores de los hemisferios terrestres sur y norte<sup>2</sup>.

### Cruz del Sur

Esta figura está formada por estrellas circumpolares. Aparentemente su denominación se debe al navegante Magallanes (1480-1521), hacia el año 1505.



Constelación Dinámica de Orión.

No se trata de una cruz de brazos iguales, sino desiguales.

Tampoco sus brazos se cruzan ambos por su centro; aproximadamente a un cuarto de la longitud del brazo mayor, cruza el brazo menor, este sí por su mitad. Así, los brazos de la figura de la Cruz del Sur forman un romboide, identificado también con un crucifijo, símbolo del Cristianismo.

Si se prolonga imaginariamente el brazo mayor de la Cruz del Sur, sobre la esfera celeste, unas cuatro veces y media, en el sentido del extremo más alejado del brazo menor<sup>3</sup>, puede hallarse en forma aproximada la ubicación del polo celeste sur. Si una vez identificado ese punto, se desciende la visual hacia el horizonte, allí donde lo cruce se ubica el punto cardinal homónimo.

Por último, dado que todas las estrellas que forman la Cruz del Sur son circumpolares, quienes habitan en el hemisferio sur de la Tierra pueden observar esta constelación durante todas las noches del año<sup>4</sup>.

La representación de las estrellas con las que armamos ambas constelaciones dinámicas se hicieron con esferas de madera, cuyo diámetro se buscó que resultara proporcional al diámetro real de las estrellas. Algo semejante se intentó con su coloración: las esferas fueron pintadas con el color que caracteriza a las estrellas reales.

Una escala en longitud, en años luz, da la distancia de cada estrella a la Tierra, la cual se ubicaría a los ojos del observador, en el visor del dispositivo.

A la distancia adecuada se ubica cada esfera estelar, mediante una vara de metal cuya altura respecto del piso también está determinada en función de la distancia a la que se halla la estrella representada con respecto al plano de la visión, el que pasa por el visor.

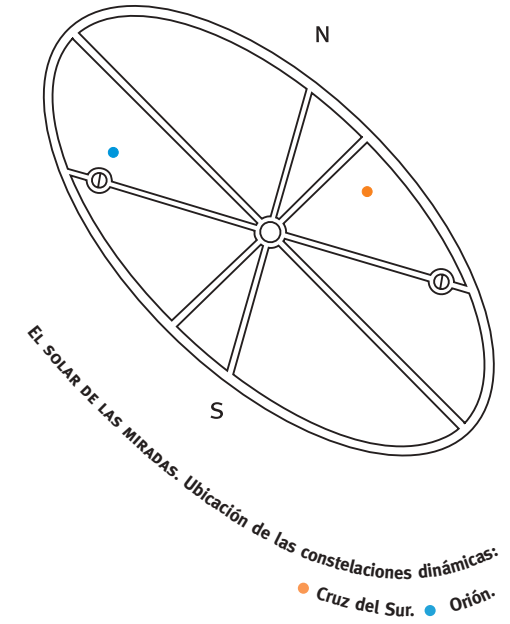
Finalmente, la distancia entre las estrellas también se materializa en la misma escala, mediante la separación con que se ubican las varas de sostén.

*3 - Es también el sentido de su estrella menos brillante hacia la de mayor brillo.*

*4 - En el Mirador Circumpolar del Solar de las Miradas, la constelación de la Cruz del Sur se puede ver dentro de la circunferencia circumpolar del artefacto.*

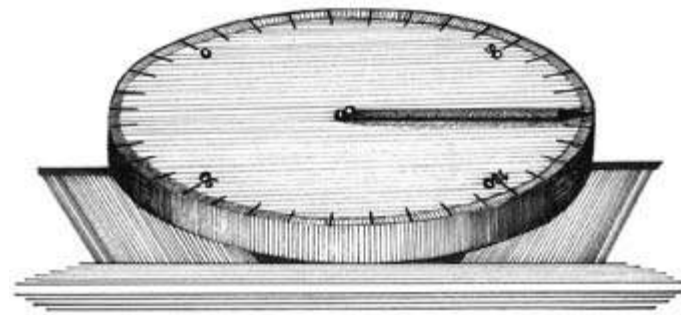
El visor es un marco metálico de forma rectangular de 20cm de alto por 30cm de largo, con pequeñas figuras ornamentales, hechas en latón.

Todos los materiales fueron tratados especialmente para soportar la intemperie.





regla solsticial



Regla Solticial marcando al horizonte del Solar de las Miradas

Este sencillo instrumento permite registrar observacionalmente el alejamiento del levante solar, desde el punto cardinal Este, tanto hacia el Sur como hacia el Norte. Análogamente, puede usarse para registrar el alejamiento del poniente solar, desde del punto cardinal Oeste.

Los corrimientos extremos de levantes y ponientes solares ocurren en las fechas de los solsticios (aproximadamente el 21 de junio y el 21 de diciembre).

La estructura es un círculo de 30cm de diámetro y 1,9cm de espesor; la regla propiamente dicha tiene unos 16cm de longitud. Utilizamos melamina de 19mm de ancho y láminas de bronce de 0,5mm de espesor.





a.



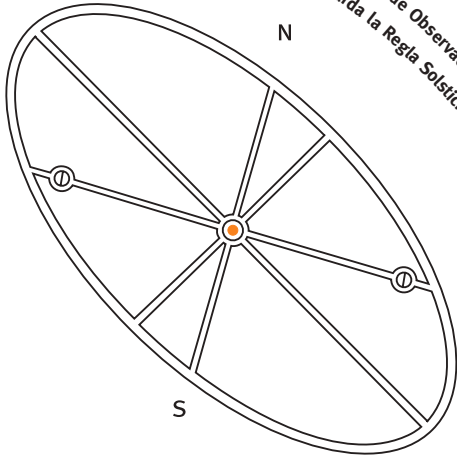
b.



c.

a. Vista perspectiva. b. Vista cenital. c. Vista lateral.

EL SOLAR DE LAS MIRADAS. ● Ubicación de la Torre de Observación, en cuyo interior se guarda la Regla Solsticial



veletas  
veletas



Según una acepción, la palabra veleta deriva del latín *velum*, que significa velo o cortina. Otra interpretación señala que veleta procede del árabe *beleta*, que indica deambular, ir de un lado a otro.

El antecedente más antiguo registrado de las veletas parece encontrarse en el antiguo Egipto, donde se utilizaban las figuras de ciertos animales para indicar la dirección de los vientos.

A posteriori, a excepción de la famosa Torre de los Vientos de Atenas, los arquitectos romanos y griegos no se ocuparon mucho de las veletas.

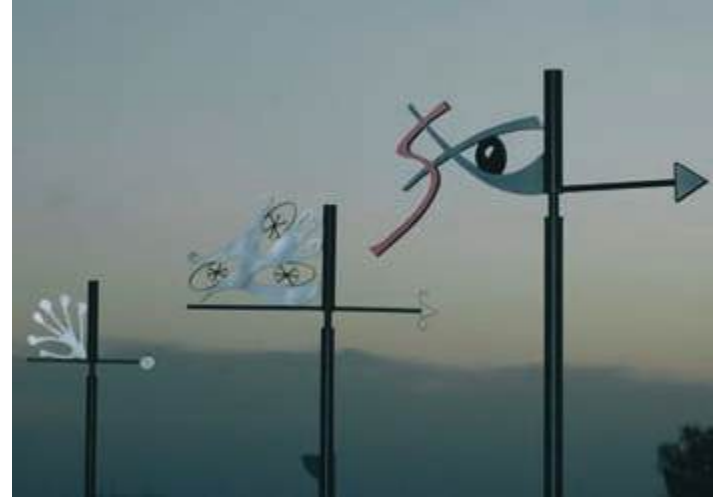
Durante la Edad Media, las veletas fueron un símbolo de señoría, de nobleza. De alguna manera, representaban el poder económico, político, religioso y militar; las principales figuras que las adornaban fueron gallos y ángeles<sup>1</sup>, por encima de otras figuras como banderas, insignias, escudos o animales fabulosos.

Pero luego, el rol de las veletas tuvo un cambio, pasaron de ser emblemas a tener un objetivo práctico. Esto sucedió al desarrollarse la brújula y al comenzar a relacionar las veletas con la rosa de los vientos. Las veletas, entonces, además de ser obras de arte se convirtieron en instrumentos útiles, como así también en un medio de comunicación y de expresión.



<sup>1</sup> - Aparentemente, ambas figuras fueron sugeridas desde el Vaticano, en el siglo X.

Zona de Veletas en el Solar de las Miradas.



a.



b.

a. Vista perspectiva. b. Vista frontal. c. Vista lateral.



c.

No obstante, siguieron reservadas a ciertos edificios, particularmente los templos y campanarios, para más tarde pasar a los fuertes y otros edificios castrenses. Finalmente las veletas volvieron a los castillos de los reyes y en lo alto de las casas de los ciudadanos pudientes.

La Veleta es un instrumento que permite identificar la dirección del viento; se lo considera el antepasado del *anemómetro*<sup>2</sup>. Se trata de un sistema mecánico, perfectamente balanceado y paralelo al suelo, cuya pieza principal, la flecha, se ubica en la dirección en que la dirige la fuerza del viento.

En general, desde el Renacimiento, se le incorporan las direcciones cardinales<sup>3</sup> para identificar la dirección de los vientos.

<sup>2</sup> - Cuya invención se le atribuye a Leonardo da Vinci.

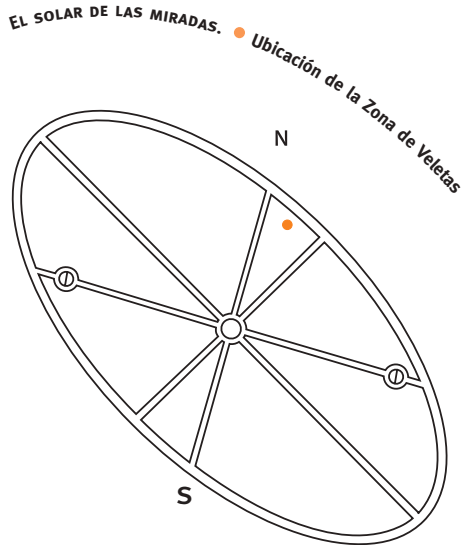
<sup>3</sup> - Este-Oeste, Norte-Sur.

### Diferentes figuras de las veletas.

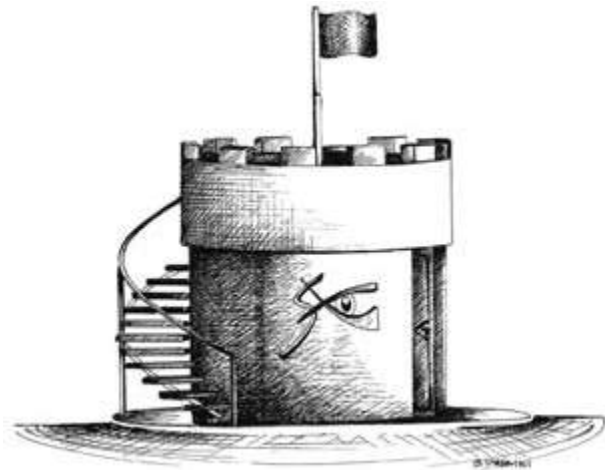
Todas las veletas que hemos incorporado en el Solar de las Miradas carecen de las direcciones cardinales. Para reconocer la dirección del viento los visitantes pueden identificar los elementos naturales que rodean al predio o bien asociar la posición que adopta la figura y la flecha de la veleta con las direcciones marcadas en la planta del predio.

Hemos definido una *Zona de Veletas*, dentro del predio. Cada una de ellas tiene una figura diferente y dimensiones diferentes. Se alzan sobre caños metálicos circulares de 7,5cm de diámetro y aproximadamente 200cm de altura.

Las figuras que adornan los instrumentos están contenidas en un área rectangular aproximada de 50cm por 60cm, mientras que la flecha indicadora, 50cm de largo. Todos los materiales fueron tratados especialmente para soportar la intemperie.



# torre de observación



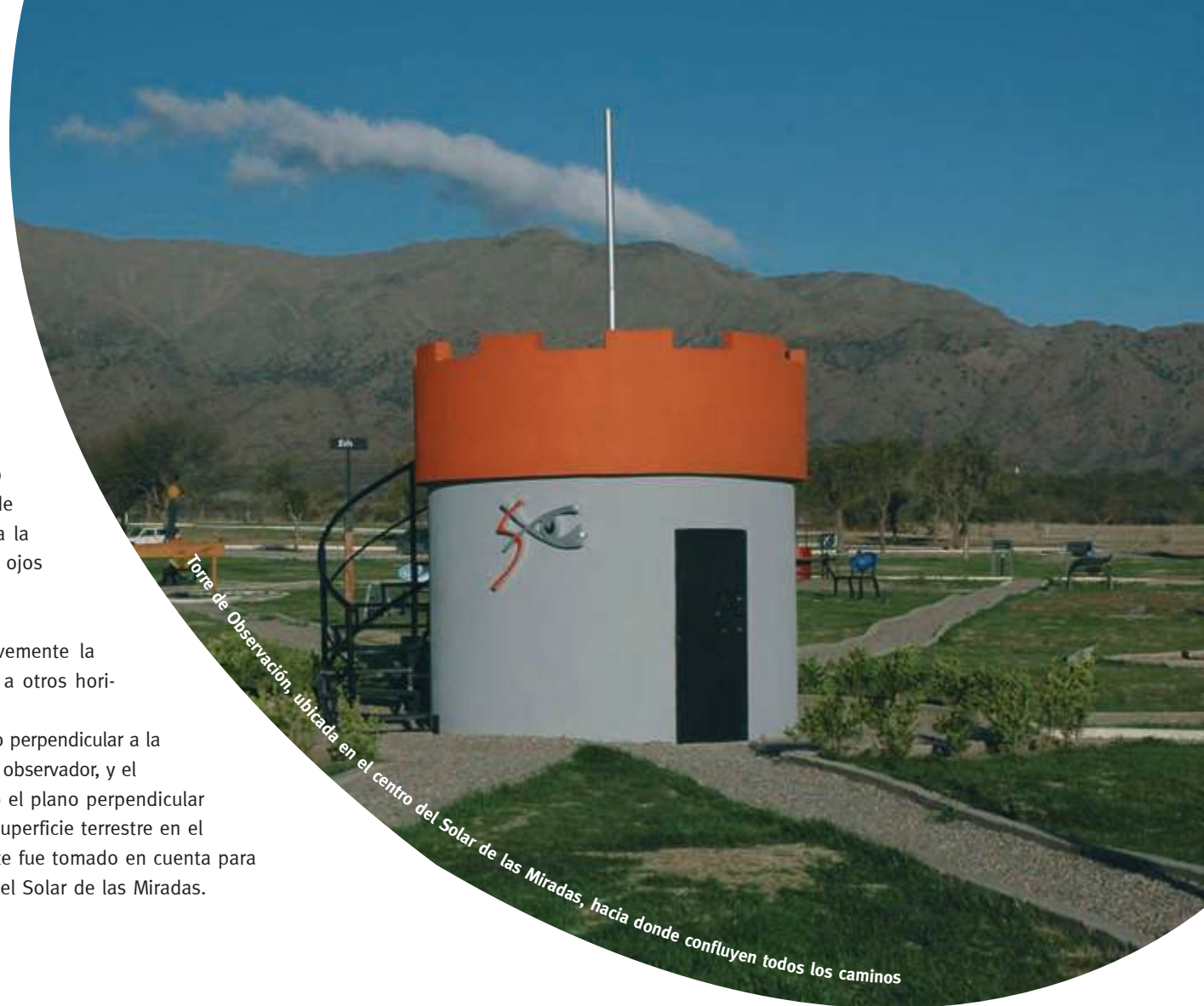


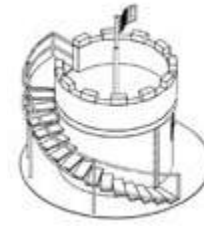
Se trata de una construcción que permite acceder a un punto elevado respecto al plano en que están montados los instrumentos.

Desde su terraza es posible apreciar el llamado *horizonte sensible*, un plano definido por la línea de contacto de la superficie de la Tierra con una superficie cónica tangente a la esfera terrestre, cuyo vértice coincide con los ojos del observador.

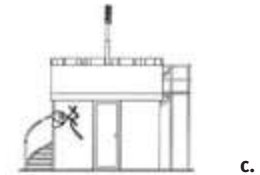
El horizonte sensible permite percibir levemente la curvatura de la Tierra y por ello es diferente a otros horizontes astronómicos, como por ejemplo:

- *El horizonte racional*, definido como el plano perpendicular a la vertical del lugar que pasa por los ojos del observador, y el
- *El horizonte matemático*, definido como el plano perpendicular a la vertical del lugar, tangente a la superficie terrestre en el lugar de observación; este horizonte fue tomado en cuenta para gran parte de los instrumentos del Solar de las Miradas.



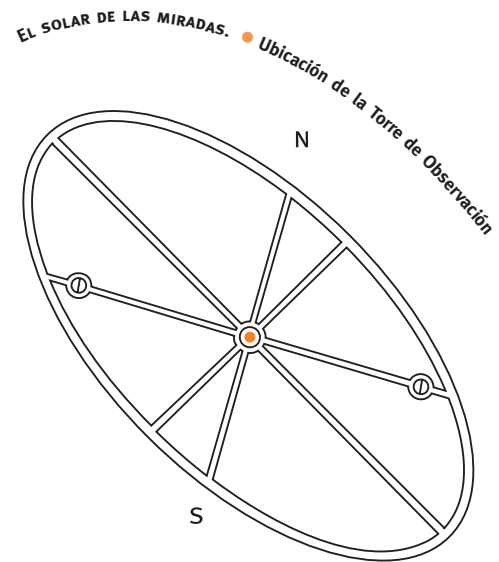


a. Vista perspectiva. b. y c. Vistas laterales.



Por una escalera lateral se accede a la terraza de la Torre, donde hay un mástil con la bandera del Solar de las Miradas.

En la pared circular de la Torre se halla el logo del Solar de las Miradas, junto a la puerta. En su interior se guardan los instrumentos de mano.



En el interior de la Torre de Observación, se guarda la colección de instrumentos de mano.

Se trata de una pequeña casilla circular, de 300cm de diámetro y 250cm de altura. Se construyó con ladrillos y vigas cementadas con una estructura de hierro. Sobre la losa superior, se alza la terraza con almenas.

modelo tierra – luna



Dado que el diámetro de la Luna es comparable con el de la Tierra, y que su distancia es 30 veces el diámetro de la Tierra, si se considera el diámetro de la Luna como unidad de medida<sup>1</sup>, el diámetro terrestre resulta entonces cuatro veces mayor que el lunar y la distancia Tierra-Luna, 120 veces esa unidad.

Esas relaciones justifican la construcción de un modelo a escala que contemple simultáneamente<sup>2</sup> los tamaños de la Luna y de la Tierra, y su distancia mutua. Además de ser valioso para visualizar las proporciones de forma y tamaño del sistema Tierra- Luna, este modelo, resulta útil didácticamente para:

Favorecer la comprensión de las fases lunares

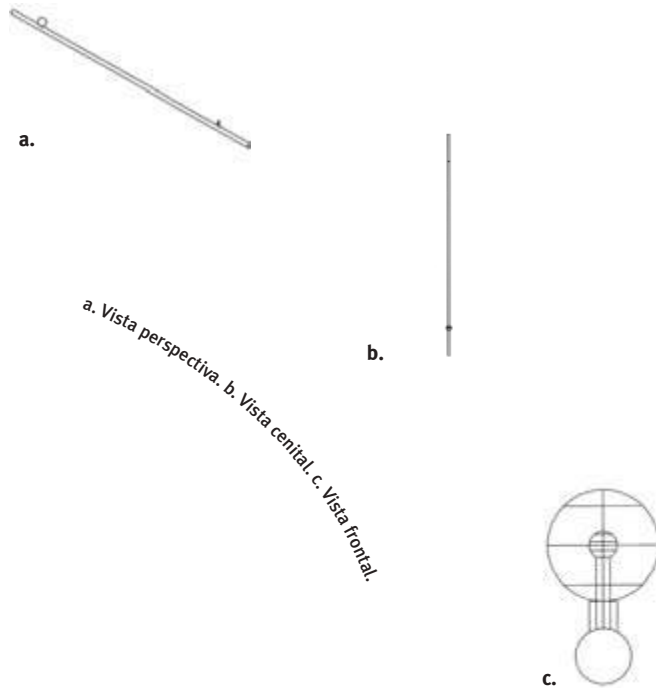
Para ello se debe usar el modelo Tierra-Luna al aire libre, en un día soleado en las fechas donde se ven la Luna y el Sol simultáneamente. En esa circunstancia, se apunta el listón hacia la Luna real, en el cielo, mirando la esfera que representa la Luna desde el extremo del listón donde está la esfera que representa a la Tierra.

Como la relación entre el tamaño y la distancia del modelo es correcta, se verá la esfera de la Luna exactamente del mismo tamaño aparente que la Luna real en la esfera celeste.



1 - Es decir: diámetro lunar = 1.

2 - A través de la información que aparece en los diarios, es posible identificar aquellas fechas en las que se ven simultáneamente la Luna y el Sol.



Además, como el Sol ilumina de la misma forma la Luna de nuestro dispositivo y a la Luna real, se consigue reproducir exactamente la fase de la Luna, lo que puede verificarse mirando directamente la esferita lunar. De esta manera, se tiene un artefacto que permite visualizar que las diferentes fases lunares se originan en la forma como vemos, desde la Tierra, la Luna bajo la iluminación solar.

También pueden reproducirse todas las fases de la Luna, con sólo hacer girar el listón (rotar su dirección) tal como lo hace la Luna real en el cielo, por ejemplo: hacia el Sol (fase Nueva), perpendicular al Sol (fase de Cuarto Creciente), de espaldas al Sol (fase Llena) y, finalmente, otra vez perpendicular al Sol (fase Cuarto Menguante).

#### Entender el mecanismo de los eclipses

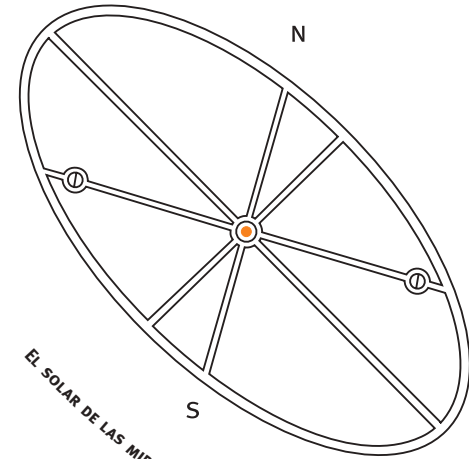
Para este fin, por ejemplo, se debe orientar el listón en dirección al Sol. Luego, observar las sombras de ambas esferas en el suelo y mover el listón hasta hacer coincidir ambas sombras.

Para entender las circunstancias de un eclipse de Sol, por ejemplo, hay que hacer caer la sombra de la esfera lunar sobre la esfera terrestre. La sombra de la pequeña esfera de la Luna produce una mancha oscura diminuta sobre la esfera que representa a la Tierra; esto muestra que el eclipse sólo puede verse desde una pequeña región de la Tierra.

Se puede distinguir inclusive la zona de sombra (eclipse total) de la zona de penumbra (eclipse parcial). Aunque esta actividad puede hacerse en cualquier momento, pueden buscarse las fechas en que se producen eclipses de Sol y de esta manera puede usar el modelo exactamente en el instante en que se produce el fenómeno celeste.

El Modelo Tierra-Luna forma parte de los instrumentos de mano. Consta de una vara o listón de madera de 120cm de longitud. En cada uno de sus extremos hay una esfera. Una de las esferas representa a la Tierra y tiene un diámetro de 4cm; la otra, a la Luna, y tiene 1cm de diámetro.

Este instrumento se guarda en la Torre de Observación del Solar de las Miradas.



El SOLAR DE LAS MIRADAS. ● Ubicación de la Torre de Observación en cuyo interior se guarda el Modelo Tierra-Luna

# los bancos temáticos y el sol móvil





En el Solar de las Miradas incluimos una colección de asientos para que el visitante descanse y para invitarlo, también, a hacer un alto y contemplar los instrumentos. Esos asientos fueron concebidos a partir de diferentes temas vinculados con la astronomía, de allí que los denominemos temáticos.

De acuerdo con su diseño, cada uno de los diferentes bancos temáticos posee un diseño singular, de tamaño semejante. No obstante, los asientos en general son de al menos 120cm de largo y 40cm de ancho y se encuentran a unos 45cm del nivel del piso.

La altura mínima de los respaldos es de 70cm y la máxima, 90cm.

Fueron construidos en madera semidura (zoita), caños metálicos cuadrados de distintas medidas y espesores, y láminas de metal labrado. Todos los materiales fueron tratados especialmente para soportar la intemperie.

En particular, una serie de doce bancos se ubicó en el contorno elíptico del predio. Se trata de los *bancos zodiacales*, llamados así dado que cada uno de ellos evoca una de las doce constelaciones del Zodíaco; en una placa a su lado se los identifica con un número romano y el nombre de la constelación que representan. Un detalle de estos bancos es el siguiente:



**SUPERIOR.** Banco de la Constelación de Aries. **MEDIO.** Banco de la Constelación de Tauro. **INFERIOR.** Banco de la Constelación de Géminis.

#### I. Piscis (Los peces)

En algunas culturas se representa por un solo pez, en otras, por dos, unidos por una cuerda. Según la mitología griega, la diosa Afrodita y Eros, su hijo, para escapar de la persecución de un monstruo, se convirtieron en peces y huyeron nadando con las colas atadas para no separarse. En la actualidad se considera la primera de las constelaciones del Zodíaco, ya que cuando el Sol en su movimiento anual atraviesa los hemisferios celestes (en el equinoccio de marzo) atraviesa a Piscis en el cielo.

#### II. Aries (El carnero)

El grupo de estrellas que la forma fue identificado con la forma de un carnero por babilónicos, egipcios, persas y griegos. Por mucho tiempo fue la primera constelación del Zodíaco; luego, debido al movimiento de precesión de la Tierra, pasó a ser la inmediata anterior, Piscis. Dentro de miles de años, será Acuario y así consiguientemente.

#### III. Tauro (El toro)

Este grupo de estrellas se identificó con un toro desde la época de los caldeos.

#### IV. Géminis (Los gemelos)

Según la mitología griega, esta constelación recuerda a los gemelos Cástor y Pólux<sup>1</sup>, hijos de la mortal Leda y el dios Zeus, quienes se hallan entre los héroes que participaron de la leyenda de Jasón y el vellocino de oro.

<sup>1</sup> - Las estrellas más brillantes de esta constelación llevan sus nombres: Cástor y Pólux.

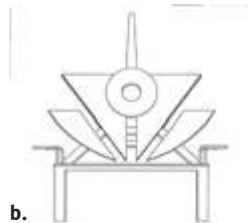




Banco de la Constelación de Cancer.



a.



b.



c.

a. Vista perspectiva b. Vista frontal. c. Vista lateral.  
Bancos Temáticos

#### V. Cáncer (El cangrejo)

Según la mitología griega, se trata de un cangrejo enviado por los dioses para molestar a Hércules, mientras éste luchaba contra un monstruo. El héroe lo pisoteó y lo mató; en recompensa, la diosa Hera lo convirtió en una constelación.

#### VI. Leo (El león)

Es una constelación cuyo origen debe buscarse en las antiguas culturas del suroeste asiático y en Babilonia; representa un león en actitud pasiva, como el de las esfinges de Egipto.

#### VII. Virgo (La virgen)

Se trata de la figura de una mujer sosteniendo espigas de trigo en las manos. En esta constelación se han identificado diferentes diosas de diversas culturas antiguas; por ejemplo Astrea entre los romanos, Démeter entre los griegos, o Ishtar entre los babilónicos.

#### VIII. Libra (La balanza)

Es la única constelación que no representa a un ser viviente, sino a un objeto. Para los griegos, en cambio representaba directamente a Temis, la diosa de la justicia, quien llevaba en sus manos una balanza.

**SUPERIOR.** Banco de la constelación de Leo. **MEDIO.** Banco de la constelación de Escorpio. **INFERIOR.** Banco de la constelación de Acuario.

#### IX. Escorpio (El escorpión)

Es una constelación ubicada sobre la franja de la Vía Láctea. Según la mitología griega su forma representa al escorpión que mató al cazador Orión<sup>2</sup>.

#### X. Sagitario (El arquero)

Es una constelación ubicada sobre la franja de la Vía Láctea. Su figura de Sagitario es la de un ser mitad hombre y mitad caballo (un centauro), que lleva un arco y flecha en la mano.

#### XI. Capricornio (La cabra con cola de pez)

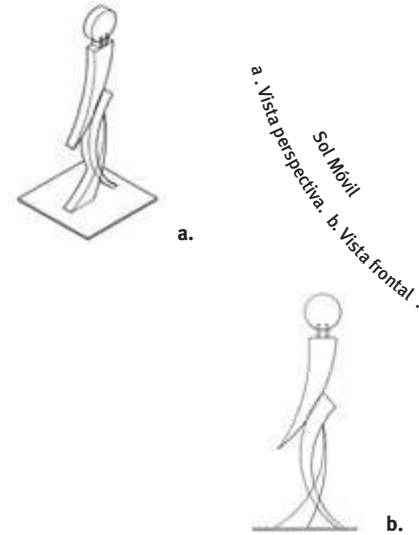
Para algunas de las culturas más antiguas, como la caldea y la babilónica, esta constelación se conocía como “la cabra”. Según la mitología griega, su origen se vincula a un episodio ocurrido al Pan, un dios pastor con cuerpo de hombre y patas y cuernos de macho cabrío. Cuando huía de un monstruo, Pan se zambulló en un río; la parte de su cuerpo que quedó bajo el agua se convirtió en pez, mientras que la otra, siguió siendo de cabra.

#### XII. Acuario (El aguatero)

Es una antigua constelación aparentemente creada en Babilonia. Se lo representa de diversas maneras, pero siempre asociadas con el agua.

<sup>2</sup> - Orión también es una constelación y se halla, sobre la esfera celeste, en el lado opuesto a Escorpio. Una de las Constelaciones Dinámicas montadas en el Solar de las Miradas, representa a la constelación de Orión.





Instalados cerca de 30° uno del otro sobre el Camino Ecliptical, el cordón de bancos zodiacales permite construir un singular indicador celeste. Para ello utilizamos una escultura, denominada Sol Móvil, que representa al Sol y es el único de los artefactos incluidos en el Solar de las Miradas que puede moverse en el predio.

El Sol Móvil se ubica sobre el Camino Ecliptical, cercano al banco zodiacal que corresponde a la ubicación aparente del Sol en el Zodíaco en cada época. De este modo, un visitante puede obtener ese dato astronómico, históricamente relevante, con sólo identificar en qué zona del contorno del predio, dominada por un determinado banco zodiacal, se ha colocado el Sol Móvil en la fecha de su visita.

**SUPERIOR.** El Sol Móvil cerca del Banco Zodiacal correspondiente a la constelación de Virgo. **INFERIOR.** Banco temático Brillo de Estrellas I.

La escultura del Sol Móvil tiene 240cm de altura, un perfil constante de 10cm y de frente presenta un ancho variable, de unos 60cm en promedio. La estructura está unida a una base cuadrada de 120cm de lado, en madera y chapa, de 5cm de espesor. El Sol Móvil fue construido en metal laminado y caño estructural.

A los 12 bancos zodiacales, se le suman otros 14 asientos, los cuales evocan diferentes conceptos o hitos astronómicos y se han distribuido en diferentes zonas del predio. Ellos son:

#### XIII y XIV. Brillo de Estrellas I

Se trata de dos bancos idénticos que reflejan la percepción de los autores acerca de la principal fuente de información astronómica: la luz de las estrellas.

#### XV y XVI. Brillo de Estrellas II

Con otro diseño, estos bancos llevan la misma impronta de los XIII y XIV.

#### XVII y XVIII. Esfera Celeste

Se trata de dos bancos idénticos en los que los autores han plasmado su interpretación de la esfera celeste.

#### XIX y XX. Lunas

Se trata de dos bancos idénticos dedicados a los satélites naturales de los planetas principales que, en la jerga astronómica, se denominan también “lunas” por el nombre del satélite terrestre.

#### XXI y XXII. Astro rey

Este banco está dedicado al Sol, por mucho tiempo considerado el centro del universo.

#### XXIII. La Mirada

No podía faltar un banco dedicado a las miradas, motivo central del Solar y procedimiento básico de la astronomía.



**SUPERIOR.** Banco temático: La Mirada. **MEDIO.** Banco temático: Cygnus X1. **INFERIOR.** Banco temático: Herschell.



**SUPERIOR.** Banco temático: La Nube. **MEDIO.** Banco temático: Brillo de las estrellas II. **INFERIOR.** Banco temático: Gigante Roja.



#### XXIV. Cygnus X-1

Este banco está dedicado a la fuente de rayos X ubicada hacia la constelación Cygnus, y que fuera descubierta por medio de un detector a bordo de un cohete, en 1962. Más tarde, en 1971, se descubrió que Cygnus X-1 era también una fuente de señales de radio. Más recientemente, los astrónomos hallaron que la estrella HDE 226868 se ubicaba en la posición de las fuentes, encontrando que se trata de una estrella supergigante azul<sup>3</sup> y que además gira alrededor de otro objeto, de gran masa, en una órbita con período de poco más de 5 días. En ese extraño objeto no hay signos de luz visible de ella y algo en el mismo produce rayos X. Para muchos investigadores, el modelo que mejor explica estos hechos admite que la compañera de la supergigante azul es un agujero negro (pudo haberse formado de la estrella que alguna vez fue la compañera espacial de HDE 226868); de este modo, los rayos X detectados serían producidos conforme el gas de la atmósfera de la supergigante azul cae hacia el agujero negro, calentándose.

#### XXV. Gigante Roja

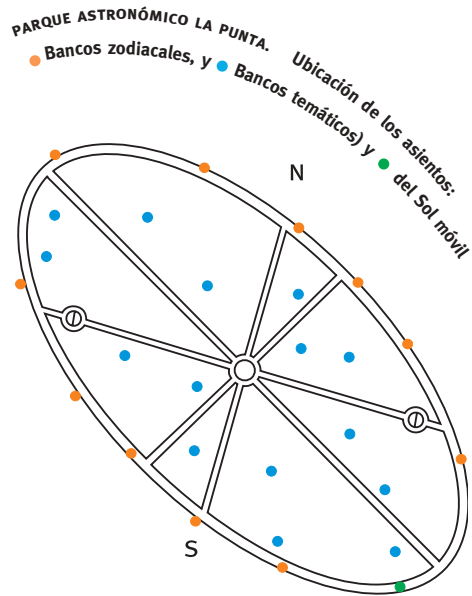
Este banco está dedicado a un particular tipo de estrellas que los astrónomos denominan gigante roja. Las estrellas llamadas “gigantes” son muy luminosas y tiene una masa que puede ser centenares de veces mayor que la masa solar; también son muy grandes en comparación a otras, como el Sol, a las que se denomina, en contraposición, estrellas “enanas”. A su vez, las gigantes rojas son estrellas evolucionadas, bastante más viejas que el Sol. Por ejemplo, Betelgeuse, en la constelación Orión, que es tan grande que su tamaño alberga la órbita de Marte, y su diámetro es casi 400 veces más grande que el diámetro solar.

*3 - Se trata de una estrella normal, de gran masa, cerca del final de su existencia.*

4 - La medida actual es 10 horas 39,5 minutos.

5 - Algo semejante a lo que había hecho Nicolás Copérnico, más de dos siglos antes, cuando había planteado que la Tierra no era un astro inmóvil ni el centro del universo.

6 - Antes de Herschell se conocían sólo 100 nebulosas.



## XXVI. Herschell

Este banco está dedicado a Sir William Herschell (1738-1822), un músico que comenzó siendo astrónomo aficionado y, luego de descubrir el planeta Urano, se convirtió en el astrónomo más famoso de su tiempo. En 1785 utiliza por primera vez el término de nebulosa planetaria, para identificar a las nebulosas que aparecen como pequeños discos en el telescopio. En 1787 descubre a Oberon y Titán, dos satélites naturales de Urano. En 1789 completa la construcción de su telescopio de 1,24 metros de apertura, el mayor de su época. En 1789 descubre a Mimas y Encelado, dos satélites naturales del planeta Saturno. En 1793 mide cuánto demora Saturno en girar sobre sí mismo (10 horas y 16 minutos<sup>4</sup>). En 1800 descubre la radiación infrarroja proveniente del Sol. Además, Herschell “desbancó” al Sol como el centro fijo del universo<sup>5</sup>, construyó uno de los primeros mapas de nuestra galaxia y elaboró un importante catálogo con más de 2500 nebulosas<sup>6</sup>. Este observador extraordinario creía fehacientemente que la Luna y los planetas estaban habitados, que la luminosidad del Sol podía estar limitada a su atmósfera, que bajo la coraza de fuego del Sol existía un cuerpo frío y sólido que incluso podía estar habitado, y que las manchas solares eran agujeros en la atmósfera a través de los cuales podía llegar a verse, en ocasiones, su superficie helada inferior.

De acuerdo a su diseño, cada uno de los diferentes bancos temáticos posee dimensiones diferentes. No obstante, los asientos en general son de al menos 120cm de largo y 40cm de ancho y se encuentran a unos 45cm del nivel del piso.

La altura mínima de los respaldos es de 70cm y la máxima, 90cm.

Fueron construidos en madera semidura (zoita), caños metálicos cuadrados de distintas medidas y espesores, y láminas de metal labrado. Todos los materiales fueron tratados especialmente para soportar la intemperie.



glosario  
glosario

## a

**almicantarada**

Círculo paralelo al horizonte; un observador en el centro de la esfera celeste, ve a todos los puntos de una almicantarada a la misma altura sobre el horizonte.

**altura**

La altura es una de las coordenadas del sistema horizontal de referencia celeste, cuya medida da cuenta del ángulo que forma el astro con el horizonte del lugar de observación, medido sobre un círculo de altura. Se expresa con la letra “*hache*” minúscula [h]. Varía entre  $h = 0^\circ$  (cuando el astro está en el horizonte) y  $h = 90^\circ$  (cuando el astro se encuentra en el cenit). Tomando un valor positivo para el hemisferio norte celeste y negativo para el hemisferio sur celeste respectivamente.

**ángulo horario**

El ángulo horario es una de las coordenadas del sistema ecuatorial de referencia celeste y se expresa con la letra “*t*” minúscula. Da cuenta de un ángulo medido en el ecuador celeste, con vértice en el observador, que mide la distancia entre dos meridianos celestes: uno que contiene al astro y otro que contiene al cenit (es decir, el meridiano del lugar). Se mide en el mismo sentido del movimiento aparente de los astros (de este a oeste).

Varía entre  $t = 0^\circ$  (cuando el astro se halla en el origen, es decir en el meridiano del lugar) y  $360^\circ$ . Habitualmente, se utilizan unidades horarias en su determinación (horas, minutos y segundos de tiempo), de allí su denominación.

**año**

Tiempo que le demanda a la Tierra dar una revolución completa alrededor del Sol.

**AÑO BISIESTO**

Año calendario extraordinario, de 366 días. Los años bisiestos se intercalan cada cuatro años en los calendarios comunes.

**AÑO CALENDARIO**

Año calendario de 365 días

**AÑO DE LAS ESTACIONES**

Otro modo de denominar al año trópico.

**AÑO LUZ**

Es una de las unidades de distancia usadas en astronomía, correspondiente a la distancia recorrida por la luz en un año y equivale a 9.460.500.000.000 km.

**AÑO SIDÉREO**

Intervalo de tiempo que tarda el Sol en pasar dos veces consecutivas por la misma estrella, o por un punto fijo del cielo; también se llama año sidéreo al lapso que demora la Tierra en describir los  $360^\circ$  de su órbita alrededor del Sol. La duración del año sidéreo es 365d 6h 08m 46s, unos 20 minutos más que el año trópico.

**AÑO TRÓPICO**

Intervalo de tiempo transcurrido entre dos

pasajes consecutivos del Sol por el mismo equinoccio. El año trópico no se corresponde con el intervalo de tiempo que tarda la Tierra en describir los  $360^\circ$  de su órbita, ya que se debe restar el efecto de precesión, que es de cincuenta segundos de arco [50”]; por lo tanto, en un año trópico la Tierra describe una trayectoria de  $360^\circ - 50''$ . La duración del año trópico es de 365d 5h 48m 46s.

**arco****ARCO DIURNO**

Nombre de la trayectoria de un astro sobre el horizonte, desde su levante pasando por su culminación hasta su poniente, debido a su movimiento aparente.

**ARCO NOCTURNO**

Nombre de la trayectoria de un astro por debajo del horizonte, desde su poniente pasando por la culminación, hasta su levante, debido a su movimiento aparente.

**ascensión recta**

La ascensión recta es una de las coordenadas del sistema ecuatorial de referencia celeste y se expresa con la letra griega “*alfa*” minúscula [ $\alpha$ ]. Da cuenta de un ángulo medido en el ecuador celeste, con vértice en el observador, que mide la distancia entre dos meridianos celestes: uno que contiene al astro y otro que pasa por el punto equinoccial. Se mide en sentido contrario del movimiento aparente de los astros (de oeste a este). Varía entre  $\alpha = 0^\circ$  (cuando el astro se halla en el origen, es decir en el

meridiano del punto equinoccial) y  $360^\circ$ . Habitualmente, se utilizan unidades horarias en su determinación (horas, minutos y segundos de tiempo).

#### **asteroide**

Cuerpo rocoso, carbonáceo o metálico más pequeño que un planeta y que orbita alrededor del Sol. Los asteroides también se llaman planetas menores, denominación que se considera más adecuada. La mayoría de los asteroides que se hallan en el Sistema Solar, poseen órbitas entre las de los planetas principales Marte y Júpiter, pero algunos son desviados a órbitas que cruzan las de los otros planetas.

#### **astros**

Cuerpos celestes. Existe infinidad de astros en el universo, de los cuales los astrónomos se han encargado de clasificarlos en los siguientes grupos: estrellas, planetas, cometas, meteoros, asteroides, etc.

#### **azimut**

El azimut es una de las coordenadas del sistema horizontal de referencia celeste, cuya medida permite ubicar el círculo de altura de un astro, sobre el horizonte. Se expresa con la letra A. Dado un punto de origen, es un ángulo con vértice en el observador que varía entre  $A = 0^\circ$  (cuando el círculo de altura se halla en ese origen) y  $A = 360^\circ$ . Por ejemplo suele usarse el pun-

to cardinal sur como origen, en dirección hacia el norte, pasando por el oeste, para la medición de esta coordenada.

## C

#### **calendario**

Conjunto de reglas y convenciones para lograr la mayor concordancia posible entre el año que se utiliza en la vida cotidiana y las distintas unidades naturales de tiempo (día, mes, año trópico, etc.).

#### **cenit**

Punto de mayor altura sobre el horizonte de un lugar. Se halla como la intersección de la proyección de la vertical del lugar con la esfera celeste.

#### **celeste**

Calificativo utilizado para indicar que algo pertenece al cielo o bien que puede verse en el cielo. Por ejemplo, si decimos trayectoria celeste, referimos al camino que recorre un astro en el cielo. Del mismo modo que horizonte celeste hace mención de la proyección del horizonte terrestre sobre el cielo.

#### **cielo**

El cielo es la apariencia del espacio extraterrestre, tal como puede apreciarlo cualquier observador ubicado en la superficie de la Tierra, es decir, el cielo es todo aquello que podemos ver, y no es la Tierra.

#### **círculo de altura**

Plano perpendicular al horizonte que pasa por el cenit del lugar de observación y por un astro, sobre el cual se mide la coordenada altura.

#### **colatitud**

Ángulo complementario de la latitud. En otras palabras, la colatitud se halla restando a  $90^\circ$  el valor absoluto de la latitud.

#### **cometa**

Cuerpo celeste sólido, compuesto de materiales que subliman en las cercanías del Sol, que describe órbitas elípticas de gran excentricidad, lo que produce su acercamiento al Sol con un período considerable. A gran distancia (a partir de 5-10UA) desarrollan una atmósfera que envuelve al núcleo, llamada coma. Esta coma está formada por gas y polvo. Conforme el cometa se acerca al Sol, el viento solar azota la coma y se genera la cola o cabellera característica. La cola está formada por polvo y por el gas de la coma ionizado.

#### **constelación**

Desde la antigüedad, las estrellas visibles a simple vista resultaban tener posiciones precisas, y las personas se dedicaron a armar figuras en el cielo, las reunieron imaginariamente formando líneas entre ellas, los dibujos hechos con las estrellas se denominan constelaciones.

**coordenada**

## COORDENADAS CELESTES

Par de valores en unidades angulares que permiten determinar la posición de un astro en la esfera celeste. Ambas coordenadas representan distancias de un punto a dos arcos perpendiculares entre sí. Esos arcos se miden sobre círculos máximos los cuáles resultan de la intersección de planos que cortan a la esfera celeste y pasan por su centro.

## COORDENADA TOPOCÉNTRICA

Las coordenadas topocéntricas son las coordenadas celestes que tienen su centro en un observador ubicado en la superficie de la Tierra. Normalmente se calculan las coordenadas geocéntricas que tienen su origen en el centro de la Tierra; entre las topocéntricas y las geocéntricas, hay una pequeña diferencia que se llama paralaje diurna.

## COORDENADA HELIOCÉNTRICA

Las coordenadas heliocéntricas tienen por origen el Sol y pueden ser coordenadas cartesianas, coordenadas eclípticas o coordenadas ecuatoriales. Para distinguir de las coordenadas geocéntricas que tienen su origen en la Tierra se añade la palabra heliocéntricas. Suelen expresarse en coordenadas heliocéntricas la posición de los planetas, asteroides y cometas que giran en torno al Sol, incluso la Tierra.

**culminación**

Posición correspondiente a la máxima

altura de un astro sobre el horizonte. Es el punto medio de su arco diurno, es decir, un astro tarda el mismo tiempo en recorrer el arco que va desde su levante hasta la culminación, que el correspondiente desde la culminación hasta su poniente.

**declinación**

La declinación es una de las coordenadas del sistema ecuatorial de referencia celeste y se expresa con la letra griega delta en minúscula [ $\delta$ ]. Da cuenta de la distancia angular que separa a un astro del ecuador celeste, medida sobre un meridiano celeste. Sus valores varían entre  $-90^\circ$  (para astros en el hemisferio sur celeste) y  $+90^\circ$  (en el hemisferio norte celeste). Si el astro se halla en el plano del ecuador celeste,  $\delta = 0^\circ$ ; si está exactamente en el polo sur celeste,  $\delta = -90^\circ$  y, en cambio, si está en el norte,  $\delta = +90^\circ$ .

**día**

## DÍA SOLAR

Lapso de duración de la rotación de la Tierra, medida con respecto a la dirección al Sol.

## DÍA SIDÉREO

Lapso de duración de la rotación de la Tierra, medida con respecto a las estrellas.

**diámetro aparente**

Ángulo correspondiente al diámetro de un cuerpo celeste subtendido desde la Tierra.

**distancia**

## DISTANCIA APARENTE

Es la medida angular de la separación observable entre dos astros sobre la esfera celeste. Puede ser medida sobre los círculos máximos que pasan por el observador (por ejemplo, el ecuador celeste o uno de los meridianos celestes) o bien círculos menores.

## DISTANCIA CENITAL

Ángulo complementario de la altura, cuya medida da cuenta del ángulo que forma el astro con el cenit del lugar de observación, medido sobre un círculo de altura. En otras palabras, la distancia cenital se halla restando a  $90^\circ$  el valor absoluto de la altura. Varía entre  $z = 0^\circ$  (cuando el astro está en el cenit) y  $z = 90^\circ$  (cuando el astro está en el horizonte)

**eclipse**

Oscurecimiento total o parcial de un astro por otro que pasa delante, o por la sombra proyectada por el otro astro.

**eclíptica**

Los antiguos modelos geocéntricos consideraban que la Tierra era el centro del universo y el resto de los astros giraba a su alrededor. Se denomina “eclíptica” a la trayectoria aparente anual del Sol. Ese nombre deriva de “eclipse” ya que el plano de la eclíptica es donde se producen los eclipses.

## **Ecuador**

### ECUADOR CELESTE

Es la proyección del ecuador terrestre sobre la esfera celeste, a la que divide siempre en dos hemisferios iguales: hemisferio sur celeste y hemisferio norte celeste.

### ECUADOR TERRESTRE

Plano que divide a la Tierra en dos partes iguales, denominadas hemisferios. Si se considera a la Tierra una esfera perfecta, el ecuador terrestre define dos hemisferios congruentes.

## **eje**

### EJE DEL MUNDO

Es otro de los nombres con que se denomina al eje de rotación de la Tierra.

### EJE DE ROTACIÓN

Línea imaginaria alrededor de la cual se produce la rotación un astro.

## **elipse**

Es una curva cerrada, tal que la suma de las distancias de uno cualquiera de sus puntos a otros dos fijos, interiores, llamados focos, es constante. Los focos se hallan sobre el eje mayor de la elipse, equidistantes del centro de la figura.

## **equinoccio**

Se denomina equinoccio a cada uno de los dos puntos de la esfera celeste en los que la eclíptica corta al ecuador celeste.

En las fechas en las que el Sol, por su movimiento anual aparente, se halla en un equinoccio, la duración del día y de la noche es idéntica. En las fechas de los equinoccios el Sol sale exactamente por el este y se pone por el oeste. Los equinoccios se llaman primer punto de Aries o equinoccio vernal, en torno al día 21 de marzo, y primer punto de Libra o equinoccio otoñal, en torno al día 21 de septiembre. El primero es el punto del ecuador celeste donde el Sol en su movimiento anual aparente por la eclíptica pasa de sur a norte respecto al plano ecuatorial, y su declinación pasa de negativa a positiva. En el primer punto de Libra sucede lo contrario: el Sol aparenta pasar de norte a sur del ecuador celeste, y su declinación pasa de positiva a negativa.

## **esfera celeste**

Es una representación geométrica del cielo visible (observable por encima del horizonte) e invisible (por debajo del mismo). El centro de la esfera celeste es el observador y su radio se considera infinito.

## **este**

Punto sobre el horizonte, que divide a oriente en dos partes iguales. El este coincide con el levante del Sol dos veces por año, en las fechas de los equinoccios.

## **estrellas fijas**

En el cielo nocturno se observan un

gran número de estrellas cuyas distancias mutuas no dependen de la posición del observador y que desde hace siglos ocupan las mismas posiciones relativas; por esa razón se las denomina estrellas fijas. El nombre *firmamento* (lugar de las estrellas *firμες* o fijas) en parte es debido a que los antiguos sostenían que las estrellas estaban fijas en una esfera de cristal muy distante que rodeaba a la Tierra, la cual era también su centro.

f

## **fases lunares**

Las fases de la Luna se producen como consecuencia de las posiciones relativas de la Tierra, la Luna y el Sol. Esos diferentes aspectos son debidos a la iluminación desigual de la superficie lunar visible desde la Tierra. Las distintas fases lunares se repiten periódicamente en un intervalo aproximado de unos 29,5 días.

g

## **galaxia**

Agrupación de cientos de miles de millones de estrellas y de materia interestelar que se mantiene unido por gravitación mutua.

h

## **horizonte**

### HORIZONTE TERRESTRE

Es un plano tangente a la superficie te-

restre en el sitio donde se halla el observador. Sobre el horizonte se hallan los levantes y ponientes de los astros. La palabra horizonte deriva del griego y significa contorno.

#### HORIZONTE CELESTE

Es un plano que resulta de la proyección del horizonte terrestre sobre la esfera celeste.

### latitud

#### LATITUD GEOGRÁFICA

Es una de las coordenadas geográficas que permiten ubicar la posición de un sitio cualquiera sobre la superficie terrestre. Da cuenta de la distancia angular entre ese sitio y el plano del ecuador. Es un ángulo con vértice en el centro de la Tierra, medido sobre un meridiano, que puede variar entre  $0^\circ$  (si el sitio está sobre el ecuador) a  $90^\circ$  (si el sitio está en uno de los polos terrestres). Para diferenciar las latitudes en uno y otro hemisferio terrestre, se usan los signos más (+) y menos (-). Las latitudes negativas corresponden al hemisferio sur y las positivas al hemisferio norte.

#### LATITUD ECLÍPTICA

La latitud eclíptica es una de las coordenadas del sistema ecliptical de referencia celeste. Es el ángulo determinado por la visual dirigida al astro con el plano de la eclíptica. Se mide de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  y se considera positiva o negativa dependiendo si el astro se encuentra en

el hemisferio que contiene el polo norte ecliptical (boreal) o el polo sur ecliptical (austral) respectivamente.

### levante

Punto del horizonte, en la zona de oriente, por donde surge un astro.

### limbo

Borde visible de una estrella o planeta.

### longitud

#### LONGITUD GEOGRÁFICA

Es una de las coordenadas geográficas que permiten ubicar la posición de un sitio cualquiera sobre la superficie terrestre. Da cuenta de la distancia angular entre el meridiano que contiene ese sitio y otro meridiano, usado como origen. Es un ángulo con vértice en el centro de la Tierra, medido sobre el ecuador, que puede variar entre  $0^\circ$  (si el sitio está sobre el meridiano de origen) a  $360^\circ$ .

#### LONGITUD ECLÍPTICA

La longitud eclíptica es una de las coordenadas del sistema ecliptical de referencia celeste, y se define como el arco entre el punto vernal y la intersección del círculo máximo que contiene a los polos eclipticales, pasando por el astro. Esta coordenada se mide desde el punto vernal de  $0^\circ$  a  $360^\circ$ , en sentido contrario al movimiento diurno.

### lunación

Es el intervalo de tiempo entre dos

conjunciones o dos oposiciones consecutivas, esto es, el tiempo entre dos Lunas Nuevas sucesivas o dos Lunas Llenas. La duración aproximada es de 29d 12h 44m 2,8s.

# m

### mediodía

Instante en que el Sol alcanza el punto medio de su arco diurno. Punto de máxima altura del Sol sobre el horizonte, que divide el día en dos lapsos iguales. Instante en que se produce la culminación solar.

### meridiana

Línea sobre el horizonte que divide oriente de occidente. También se denomina línea norte-sur, ya que en su intersección con el horizonte define esos puntos cardinales.

### meridiano

#### MERIDIANO TERRESTRE

Plano perpendicular al ecuador que pasa por los polos y contiene a la meridiana de un lugar.

#### MERIDIANO CELESTE

Proyección de un meridiano terrestre sobre la esfera celeste.

#### MERIDIANO DEL LUGAR

Es el meridiano celeste que contiene al cenit de un observador.

## **mes**

MES CALENDARIO

Conjunto de 28, 29, 30 o 31 días en que está dividido el año calendario.

MES LUNAR. Ver “Lunación”.

## **meteoro**

Objeto luminoso que aparece repentinamente, cruzando el cielo a gran velocidad, y luego desaparece. Son partículas de polvo de procedencia extraterrestre, que se acercan velozmente desde el espacio. Cuando entran en la atmósfera terrestre, a causa del roce con el aire, se hacen luminosos, provocando cierta incandescencia.

## **movimiento**

MOVIMIENTO ABSOLUTO

Desplazamiento de un astro que se aprecia desde el espacio extraterrestre, también llamado movimiento real.

MOVIMIENTO APARENTE

Desplazamiento de un astro en la esfera celeste tal como se lo observa desde la superficie terrestre.

MOVIMIENTO DE ROTACIÓN

Nombre del movimiento de giro de un astro sobre sí mismo.

MOVIMIENTO DE REVOLUCIÓN.

Nombre del movimiento de giro de un astro alrededor del Sol, también llamado traslación.

## **n**

## **noche**

Intervalo de tiempo que se caracteriza por la ausencia de la luz solar.

## **norte**

Punto cardinal que se halla en la intersección del horizonte con un extremo de la línea meridiana, ubicado diametralmente opuesto al sur.

## **O**

## **oblicuidad de la eclíptica**

Es el ángulo de inclinación entre el ecuador celeste y la eclíptica. Su valor es de  $23^{\circ} 27,5'$ . Se cree que Eudemos de Rodas (320 a.C.) fue el primero en observar este ángulo, pero no lo midió. Más tarde, Hiparco adoptó el valor de  $11/83$  partes del semicírculo, bastante aproximado al actual.

## **observatorio**

Un observatorio astronómico es un edificio destinado al estudio de los cuerpos celestes y del cielo en general.

## **occidente**

Zona del horizonte donde ocurren todos los ponientes.

## **oeste**

Punto sobre el horizonte que divide

a occidente en dos partes iguales. El oeste coincide con el poniente del Sol dos veces por año, en las fechas de los equinoccios.

## **oriente**

Zona del horizonte donde ocurren todos los levantes.

## **ocaso**

Instante en que se produce la puesta de un astro.

## **órbita**

Trayectoria de un astro alrededor de otro cuerpo celeste. Hay órbitas cerradas (por ejemplo, con forma de elipse) y otras abiertas (por ejemplo, con forma de parábola).

## **orto**

Instante en que se produce la salida de un astro.

## **p**

## **paralaje**

Desplazamiento aparente de una estrella cercana sobre el fondo de otras más lejanas, a medida que la Tierra se mueve alrededor del Sol.

## **período**

PERÍODO SIDÉREO

Es el intervalo de tiempo que tarda un planeta en completar su órbita alrededor

del Sol, es decir, cubrir exactamente 360°.

**PERÍODO SINÓDICO**

Es el intervalo de tiempo entre dos pasajes de un planeta por la misma posición del cielo en relación con el Sol, por ejemplo, el lapso entre dos fases lunares semejantes.

**polo**

**POLO GEOGRÁFICO O TERRESTRE**

Cada una de las intersecciones del eje del mundo con la superficie de la Tierra.

**POLO CELESTE**

Proyección del polo terrestre sobre la esfera celeste.

**POLO ELEVADO**

Se llama así al polo celeste que puede identificar un observador sobre el horizonte. Por ejemplo, en el hemisferio sur de la Tierra, el polo elevado es el polo sur celeste.

**poniente**

Punto del horizonte, en la zona de occidente, por donde se oculta un astro.

**planetas**

Cuerpos sin luz propia que se desplazan alrededor de una estrella o sistema estelar central reflejando su luz.

**PLANETAS ENANOS**

Es aquel cuerpo celeste que está en órbita alrededor del Sol, tiene forma casi esférica, no es un satélite de un planeta u otro cuerpo no estelar y la vecindad de

su órbita no está libre de otros cuerpos. Por ejemplo, son planetas enanos Plutón, Ceres y Éride<sup>1</sup>.

**PLANETAS CLÁSICOS O PRINCIPALES**

Es aquel cuerpo celeste que está en órbita alrededor del Sol, tiene forma casi esférica, no es un satélite de un planeta u otro cuerpo no estelar y la vecindad de su órbita se encuentra liberada de otros cuerpos. Por ejemplo, son planetas clásicos Mercurio, Venus, Marte, Júpiter, Saturno, Urano, Neptuno y la Tierra.

**PLANETAS MENORES. Ver Asteroides.**

**PLANETAS SECUNDARIOS O SATÉLITES**

Cuerpos planetarios que giran alrededor de otro. Por ejemplo, la Luna (que gira alrededor de la Tierra), Caronte (alrededor de Plutón) o Ganímedes (entorno a Júpiter).

**planetario**

Instrumento capaz de representar o simular el cielo.

**precesión**

Lento cambio de posición de los equinoccios, como resultado de la variación en la orientación del eje de rotación terrestre.

**punto**

**PUNTO CARDINAL**

Se denominan este, oeste, norte y sur. Definen cuatro direcciones significativas en el plano del horizonte.

**PUNTO EQUINOCCIAL O EQUINOCCIO**

Cada una de las intersecciones de la eclíptica con el ecuador celeste.

**PUNTO VERNAL**

Punto sobre la eclíptica en el cual el Sol, en su movimiento anual aparente, cruza de Sur a Norte el ecuador, también llamado equinoccio vernal.

**reloj**

Dispositivo inventado para representar y/o registrar intervalos de tiempo.

**sistema**

**SISTEMA DE COORDENADAS HORIZONTAL**

Tiene al horizonte celeste como plano fundamental, sobre el que se define el azimut. La segunda coordenada es la altura y se mide sobre el círculo vertical al horizonte.

**SISTEMA DE COORDENADAS ECLIPTICAL**

En general este sistema de referencia se emplea para estudiar fenómenos que no dependen del movimiento diario. Utiliza a la eclíptica como plano fundamental, sobre la cual se define una coordenada denominada longitud ecliptical, la segunda coordenada de este sistema, llamada

<sup>1</sup> - A este mundo también se lo denominaba Xena o 2003 UB313, hasta adquirir su nombre definitivo: Éride o Eris..

r

S



latitud ecliptical, es el ángulo determinado por la visual dirigida al astro con el plano de la eclíptica.

SISTEMA DE COORDENADAS ECUATORIAL LOCAL

Tiene al ecuador celeste como plano fundamental, sobre el que se define el ángulo horario. La segunda coordenada es la declinación y se mide sobre un meridiano celeste.

SISTEMA SEXAGESIMAL

Es un sistema de numeración posicional que emplea la base sesenta; se utilizan como unidades los grados, minutos y segundos. Tuvo su origen en Babilonia.

### **solsticio**

Puntos sobre el plano de la eclíptica en los que el Sol alcanza su mayor distancia de puntos equinocciales. El Sol alcanza los solsticios hacia el 21 de diciembre y el 21 de junio; en esas fechas, respectivamente, se producen la mayor y menor altura del Sol sobre el horizonte<sup>2</sup>.

### **sur**

Punto cardinal sobre horizonte que se halla en la intersección de éste con uno de los extremos de la línea meridiana, ubicado diametralmente opuesto al norte.

### **telescopio**

Instrumento óptico que tiene por finalidad formar una imagen del astro para observarla visualmente, aumentando el

diámetro angular del cuerpo celeste; o bien para dirigirla a algún otro instrumento auxiliar, como por ejemplo, una cámara fotográfica.

**traslación.** Ver “Movimiento de revolución”.

### **unidad astronómica**

La Tierra no se encuentra siempre a la misma distancia del Sol. El promedio entre su máximo alejamiento y su mayor acercamiento, fue definido como la unidad de distancia astronómica, se abrevia UA (Unidad Astronómica) y su valor es de 150.000.000 km.

### **universo**

Se llama así al conjunto de toda la materia existente, junto al espacio y al tiempo. También se usa la palabra universo para referirse en particular a la totalidad de astros que se conocen.

### **vertical del lugar**

Es la línea perpendicular al horizonte que intercepta la esfera celeste en un punto llamado cenit. Se la materializa por el hilo de una plomada y representa la dirección vertical.

### **vía láctea**

Banda luminosa circular proyectada en el cielo, y que corresponde a la intersección

del disco galáctico con una fuerte concentración de estrellas, gas y polvo de cientos de miles de millones de estrellas en donde se encuentra situado el Sol. También se llama Vía Láctea a la galaxia donde se halla el Sol y todo su sistema planetario.

### **viento solar**

Se trata de una corriente de gases y partículas que el Sol expulsa de su superficie. El viento solar, a gran velocidad, se adentra en el espacio interplanetario.

### **visual**

Es la línea que une al observador con el astro.

### **zodiaco**

Desde la antigüedad, las constelaciones construidas y observadas en la franja celeste centrada en la eclíptica fueron usadas como referencia para múltiples observaciones y medidas. Ese sector se denomina franja zodiacal y su nombre deriva del hecho que en un principio todas esas constelaciones tenían forma de animales. Zodiaco significa “camino de los animales”.

<sup>2</sup> - Es opuesta la relación entre la altura y la fecha, en el hemisferio norte.

# bibliografía utilizada

bibliografía utilizada

ALEMANY, C., TIÓ, M, PARELLADA, M., 2000, "Carryng out a Project: a paralell Herat", 6th International Conference Teaching Astronomy, Institut de Ciències de l'Educació – Universitat Politècnica de Catalaunya, pag. 69, Vilanova i la Geltrú.

APARICIO, E., 2000, "An ecliptic mundial", 6th International Conference Teaching Astronomy, Institut de Ciències de l'Educació – Universitat Politècnica de Catalaunya, pag. 29, Vilanova i la Geltrú.

BERTHOMIEU, F., 1998, "Lune, phases, eclipses...", 2nd International Summer School of European Association for Astronomy Education, Institut de Ciències de l'Educació – Universitat Politècnica de Catalaunya, pg. 98, Barcelona.

BERTHOMIEU, F., 2000, "La'astrolabe jupiterien de Galilee et la determination de la longitude", 4th International Summer School of European Association for Astronomy Education, Institut de Ciències de l'Educació – Universitat Politècnica de Catalaunya, pg. 81, Barcelona.

BONINSEGNA, R., 2000, "Determinining latitude an longitude observing only one star", 4th International Summer School of European Association for Astronomy Education, Institut de Ciències de l'Educació – Universitat Politècnica de Catalaunya, pg. 55, Barcelona.

BONVEHÍ, L., CAPELL, A., COLOM, J. & ROS, R.M., 1998: "Aprenem Astro-nomia construint un planisferi", Institut de Ciències de l'Educació – Universitat Politècnica de Catalaunya, Barcelona.

BROMAN, L., ESTALELLA, R., ROS, R.M., 1988, Experimentos de Astronomía, Ed. Alambra, Madrid.

BÖHM, C., 1997, Dall'astrolabio al telescopio spaziale, Ed. Scienza, Trieste.

CAMINO N., 1995, "Sky's plaza: a place to play and to learn with astronomy", 5th International Conference Teaching Astronomy, Institut de Ciències de l'Educació –Universitat Politècnica de Catalaunya, pag. 55, Vilanova i la Geltrú.

CAMINO, N., 1997, "Construcción de las nociones de espacio y tiempo en segundo y tercer ciclo de la EGB. Aspectos conceptuales y didácticos de la determinación de la posición en el espacio y el tiempo mediante la construcción de relojes de Sol", 10ª Reunión Nacional de Educación en Física, Mar del Plata.

CAMINO, N., 1999, "Sobre la didáctica de la astronomía y su inserción en la EGB", Cap. 4 de Enseñar Ciencias Naturales – Reflexiones y propuestas didácticas (M. Kaufman y L. Fumagalli, comp.), Ed. Paidós, Buenos Aires.

CAMINO, N., 2000, "Space and time from an Astronomical Conception: building sundials in EGB schools of Patagonia", 6th International Conference Teaching Astronomy, Institut de Ciències de l'Educació – Universitat Politècnica de Catalaunya, pag. 35, Vilanova i la Geltrú.

CAMINO, N., 2000, "Space and time from an Astronomical Conception: a didactical aid for the teaching of astronomy an sundials", 6th International Conference Teaching Astronomy, Institut de Ciències de l'Educació – Universitat Politècnica de Catalaunya, pag. 73, Vilanova i la Geltrú.

CAMINO, N., 2000, "Space and time from an Astronomical Conception: watching the moon and the night sky", 6th International Conference Teaching Astronomy, Institut de Ciències de l'Educació – Universitat Politècnica de Catalaunya, pag. 74, Vilanova i la Geltrú.

CASALI, G., 1997, "Light and shadow", 1st International Summer School of European Association for Astronomy Education, Institut de Ciències de l'Educació – Universitat Politècnica de Catalaunya, pg. 237, Barcelona.

CASALI, G., 1998, "Astronomical places in Rome: the monumental mundial of S. Maria degli Angeli", 2nd International Summer School of European Association for Astronomy Education, Institut de Ciències de l'Educació – Universitat Politècnica de Catalaunya, pg. 191, Barcelona.

CHAROLA, F., 1959, Elementos de Cosmografía, Ed. Kapelusz, Buenos Aires.

CORBO, L., 1998, "Eclittica Routante", 2nd International Summer School of European Association for Astronomy Education, Institut de Ciències de l'Educació – Universitat Politècnica de Catalaunya, pg. 179, Barcelona.

COUDERC, P., 1962, Las etapas de la astronomía, Ed. EUDEBA, Buenos Aires.

EMBACHER, F., 1992: Relojes de Sol, Ed. Progenza, Sevilla.

ESTEBAN, E., 2000, "A simulator to make out the conic sections produced by the end of the shadow of a gnomon", 6th International Conference Teaching Astronomy, Institut de Ciències de l'Educació – Universitat Politècnica de Catalaunya, pag. 76, Vilanova i la Geltrú.

ESTEBAN, E., 2000, "Sundials at the courtyard of the school", 6th Inter-

national Conference Teaching Astronomy, Institut de Ciències de l'Educació – Universitat Politècnica de Catalunya, pag. 43, Vilanova i la Geltrú.

FEINSTEIN, A. & TIGNANELLI, H., 1998, *Objetivo: Universo*, Ed. Colihue, Buenos Aires.

FILIPPONE, M.a., FUCILI, L., LANCIANO, N., LORENZONI, F., PRATTICÓ, A. & TUTINO, M., 1998: *A Scuola di Luna*, Macro Ed., Cesena.

FUCILI, L., 2000, "The shape of the Earth and of the sky: thinking about a round world", 4th International Summer School of European Association for Astronomy Education, Institut de Ciències de l'Educació – Universitat Politècnica de Catalunya, pg. 149, Barcelona.

GARCÍA-GARCÍA, S., 1998, "Inexpensive astronomical tools", 2nd International Summer School of European Association for Astronomy Education, Institut de Ciències de l'Educació – Universitat Politècnica de Catalunya, pg. 151, Barcelona.

GARCÍA-GARCÍA, S., 2000, "The beginnings of astronomical sailing", 4th International Summer School of European Association for Astronomy Education, Institut de Ciències de l'Educació – Universitat Politècnica de Catalunya, pg. 131, Barcelona.

HANNULA, I., EKKO, S., "Construct the model of the zodiac-earth-sun system", 4th International Summer School of European Association for Astronomy Education, Institut de Ciències de l'Educació – Universitat Politècnica de Catalunya, pg. 43, Barcelona.

HATHAWAY, N., 1996, *El universo para curiosos*, Ed. Crítica-Grijalbo, Barcelona.

JAFELICE, L.C., DE MENESES, F.C., BARRETO, C.L., FERREIRA, J., BORBA, G.L., 2000, "Using a portable planetarium to teach astronomy, physics, humankind, history and to popularize science", 6th International Conference Teaching Astronomy, Institut de Ciències de l'Educació-Universitat Politècnica de Catalunya, pag. 82, Vilanova i la Geltrú.

JAFELICE, L.C., 2000, "Teaching astronomy from an anthropological perspective", 6th International Conference Teaching Astronomy, Institut de Ciències de l'Educació – Universitat Politècnica de Catalunya, pag. 51, Vilanova i la Geltrú.

KOESTLER, A., 1986, *Kepler*, Ed. Salvat, Barcelona.

LANCIANO, N., 1990: *Sopra l'orizzonte*, Material para la enseñanza y la actualización de los profesores en astronomía (1979-1989), Cuaderno Nº 5, Roma.

LANCIANO, N., 1992: *Dentro il cielo*, Material para la enseñanza y la actualización de los profesores en astronomía (1990-1992), Cuaderno Nº 6, Roma.

LANCIANO, N., 1992: *Il Cielo: Laboratorio di Astronomia*, Unitat de Formació de Formadors, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona.

LANCIANO, N., 1998: *Geometria in città*, Centro Ricerche Didattiche U. Morin, Ed. Giovanni Battagin, S. Zennone degli Ezzelini, Roma.

LANCIANO, N., 1998, "The research in teaching astronomy and the learner's conceptions", 2nd International Summer School of European Association for Astronomy Education, Institut de Ciències de l'Educació – Universitat Politècnica de Catalunya, pg. 17, Barcelona.

LANCIANO, N., 2002, *Strumenti per i giardini del cielo*, Ed. Junior, Romano di Lombardia, Roma.

LAPALCE, P. S., 1947, *Breve historia de la astronomía*, Espasa-Calpe, Buenos Aires.

LEVY, D., 1995, *Observar el cielo*, Ed. Planeta, Singapur.

LINDBERG, D., 2002, *Los inicios de la ciencia occidental*, Ed. Paidós Ibérica, Barcelona.

LOCHER, K., 1995, "Motivation for observational astronomy through the history of the ancient cultures", 5th International Conference Teaching Astronomy, Institut de Ciències de l'Educació – Universitat Politècnica de Catalunya, pag. 30, Vilanova i la Geltrú.

LORENZONI, F., 1991: *Con il cielo negli occhi. Imparare a guardare lo spazio e il tempo*, Ed. Marcon, Città di Castello.

MORENO, M., 1995, "Using ancient theories and misconceptions to explain astronomic concepts", 5th International Conference Teaching Astronomy, Institut de Ciències de l'Educació – Universitat Politècnica de Catalunya, pag. 67, Vilanova i la Geltrú.

MORENO, M., 2000, "Making astronomy with the hands (and the eyes!)", 6th International Conference Teaching Astronomy, Institut de Ciències de l'Educació – Universitat Politècnica de Catalunya, pag. 86, Vilanova i la Geltrú.

NUVOLI, L., PALACI DI SUNI, C., 1998, "Sulla misura del tempo", 2nd International Summer School of European Association for Astronomy Education, Institut de Ciències de l'Educació – Universitat Politècnica de Catalunya, pg. 72, Barcelona.

PEREZ ORTIZ, J.V., 1995, "Interactive sundial with orientable gnomon", 5th International Conference Teaching Astronomy, Institut de Ciències de l'Educació - Universitat Politècnica de Catalunya, pag. 38, Vilanova i la Geltrú.

ROHR, R.R.J., 1970, *Sundials – History, Theory and Practice*, Dover Publications, New York.

ROS, R.M., 1998, "Orientation inside and outside the celestial sphere", 2nd International Summer School of European Association for Astronomy Education, Institut de Ciències de l'Educació – Universitat Politècnica de Catalunya, pg. 159, Barcelona.

ROS, R.M., 2000, "Making a simplified sextant for didactical use", 4th International Summer School of European Association for Astronomy Education, Institut de Ciències de l'Educació – Universitat Politècnica de Catalunya, pg. 91, Barcelona.

SAGAN, C., 1982, *Cosmos*, Ed. Planeta, Barcelona.

SALGADO, J.M., 1998, "Building a rudimentary astrolabe", 2nd International Summer School of European Association for Astronomy Education, Institut de Ciències de l'Educació – Universitat Politècnica de Catalunya, pg. 145, Barcelona.

SANCHEZ TEJERO, F., 1995, "Sundials of mean time and didactic application", 5th International Conference Teaching Astronomy, Institut de Ciències de l'Educació – Universitat Politècnica de Catalunya, pag. 44, Vilanova i la Geltrú.

SARTON, G., 1970, *Historia de la ciencia – La ciencia antigua durante la edad de oro griega*, EUDEBA, Buenos Aires.

SCHMIDT, A., 1994, *El astrónomo que perdió la nariz- Tycho Brahe*, Pangea Editores, México DF.

SERT, J., 1997, "Quelques aspects de l'histoire de l'astronomie", 1st International Summer School of European Association for Astronomy Education, Institut de Ciències de l'Educació – Universitat Politècnica de Catalunya,

pg. 66, Barcelona.

SZOSTAK, R., 1997, "Let us observe the daily path of the sun", 1st International Summer School of European Association for Astronomy Education, Institut de Ciències de l'Educació – Universitat Politècnica de Catalunya, pg. 211, Barcelona.

SZOSTAK, R., 2000, "Measurement of local latitude, longitude and of the declination of the sun", 4th International Summer School of European Association for Astronomy Education, Institut de Ciències de l'Educació – Universitat Politècnica de Catalunya, pg. 107, Barcelona.

PAPP, D. & BABINI, J., 1954, *Panorama General de Historia de la Ciencia*, Espasa-Calpe, Buenos Aires.

PRICE, D.J., 1984, "Strumenti di precisione fino al 1500", Cap. 22 de *Storia Della Tecnologia* (Charles Singer, comp.), pg. 592, Ed. Paolo Boringhieri, Torino.

TEN, A. E & MONROS, M. A., 1984: "Historia y enseñanza de la astronomía, los primitivos instrumentos y su utilización pedagógica. I", *Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 2, Nº1, Marzo, pg. 49-56.

TEN, A. E & MONROS, M. A., 1985: "Historia y enseñanza de la astronomía, los primitivos instrumentos y su utilización pedagógica. II", *Enseñanza de las Ciencias*, Vol. 3, Nº 1, Febrero, pg. 47-56.

TIGNANELLI, H. & ENGHEL, F., 1994, "A learning experience of Astronomy for primary schools: A tiny bit of sky", *Teaching of Astronomy in Asian-Pacific Region*, Boletín Nº 18, Mitaka (Tokyo), 1994.

TIGNANELLI, H., 1997: *La valija del astrónomo. Kit de dispositivos para la enseñanza de la astronomía*, Ministerio de Educación de la Nación – Plan Social – Programa Equipa, Buenos Aires. Inédito.

TIGNANELLI, H., 1997, "Sobre la enseñanza de la astronomía en la escuela primaria", Cap. 3º de *Didáctica de las ciencias naturales – Aportes y reflexiones* (H. Weissmann, comp.), Ed. Paidós, Buenos Aires.

TIGNANELLI, H., 2000, "Communication for developing an Astronomical Basic literacy in the Argentina Educative System", 6th International Conference Teaching Astronomy, Institut de Ciències de l'Educació-Universitat Politècnica de Catalunya, pag. 64, Vilanova i la Geltrú.

TIGNANELLI, H., 2003, "Divulgación de la astronomía y educación por

el arte - Pautas para una alfabetización astronómica en América Latina”, Memorias del Congreso “Comunicando Astronomía en Hispanoamérica”, Arecibo (Puerto Rico).

TIGNANELLI, H., 2004 (segunda edición), Astronomía en la escuela, Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología de Argentina – EUDEBA, Buenos Aires.

VANCLEAVE, J., 1999: Astronomía para niños y jóvenes, Ed. Limusa, México DF.

VERA, F., 1970, Científicos Griegos, Ed. Aguilar, Madrid.

WARLAND, W., 2000, “Solving problems with a solar motion demonstrator”, 4th International Summer School of European Association for Astronomy Education, Institut de Ciències de l’Educació – Universitat Politècnica de Catalunya, pg. 117, Barcelona.

ZANDANEL, A., 1996: Primera Luz 2º, Ed. Ajobabé, Chivilcoy.

#### **Otras publicaciones**

El Gnomón Patagónico, Publicación del Complejo “Plaza del Cielo” (1997-1998), Nº 1 y Nº 2, Esquel.

El rastro del Choike, Publicación del Complejo “Plaza del Cielo”, Nº 1 a Nº 5 (1999), Esquel.

Ensayos sobre el desarrollo de las ideas básicas de la física, 1962, Academia de Ciencias de la URSS, Ed. Pueblos Unidos, Montevideo.

Teaching of Astronomy in Asian-Pacific Region, Boletines Nº 3 a Nº 15 (1994-2000), Mitaka-Tokio.

#### **PÁGINAS DE INTERNET**

[www.artehistoria.com](http://www.artehistoria.com)

[www.astromia.com/historia.htm](http://www.astromia.com/historia.htm)

[www.astronomiamoderna.com.ar](http://www.astronomiamoderna.com.ar)

[www.astrored.org](http://www.astrored.org)

[www.azc.uam.mx/cyad/procesos/html](http://www.azc.uam.mx/cyad/procesos/html)

[www.bernisol.com/tiposderelojesdesol.htm](http://www.bernisol.com/tiposderelojesdesol.htm)

[www.biblioteca.redescolar.ilce.edu.mx](http://www.biblioteca.redescolar.ilce.edu.mx)

[www.crystalinks.com/indiastronomy.html](http://www.crystalinks.com/indiastronomy.html)

[dbhs.wvusd.k12.ca.us/webdocs/Gallery/Gallery9.html](http://dbhs.wvusd.k12.ca.us/webdocs/Gallery/Gallery9.html)

[www.filosofia.org/mon/tem/eso235.htm](http://www.filosofia.org/mon/tem/eso235.htm)

[www.fisicaweb.info](http://www.fisicaweb.info)

[fondosdigitales.us.es](http://fondosdigitales.us.es)

[www.geocities.com](http://www.geocities.com)

[www.gomaz.com/manuales/ASTROLABIO.htm](http://www.gomaz.com/manuales/ASTROLABIO.htm)

[www.ideasapiens.com](http://www.ideasapiens.com)

[www.loeb-larocque.com/cassini.html](http://www.loeb-larocque.com/cassini.html)

[www.on.br/site\\_edu\\_dist\\_2006/islamico.html](http://www.on.br/site_edu_dist_2006/islamico.html)

[perso.orange.fr/cadrans-solaires/monde/jaipur/jaipur\\_uk.html](http://perso.orange.fr/cadrans-solaires/monde/jaipur/jaipur_uk.html)

[personal.telefonica.terra.es/web/xgarciaf/heliocen/epiciclo.htm](http://personal.telefonica.terra.es/web/xgarciaf/heliocen/epiciclo.htm)

[www.planetarios.com](http://www.planetarios.com)

[www.surastronomico.com](http://www.surastronomico.com)

[www.thales.cica.es/rd/recursos](http://www.thales.cica.es/rd/recursos)

[www.thegreenside.com](http://www.thegreenside.com)

[www.tychobrahe.com](http://www.tychobrahe.com)

[volker-doormann.org/asssky.htm](http://volker-doormann.org/asssky.htm)

### Otras publicaciones del autor

#### Cuadernos para el Aula – 3º año – EGB 1

Coautoría con S. Perlmutter, M.A. Beltrán, N. Bahamonde y M. Bulwik.  
Libro sobre propuestas didácticas para los Núcleos de Aprendizajes Prioritarios de Ciencias Naturales. Publicado por el Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología de la Nación, 2006.

#### Cuadernos para el Aula – 2º año – EGB 1

Coautoría con S. Perlmutter, M.A. Beltrán, N. Bahamonde y M. Bulwik.  
Libro sobre propuestas didácticas para los Núcleos de Aprendizajes Prioritarios de Ciencias Naturales. Publicado por el Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología de la Nación, 2006.

#### Cuadernos para el Aula – 1º año – EGB 1

Coautoría con S. Perlmutter, M.A. Beltrán, N. Bahamonde y M. Bulwik.  
Libro sobre propuestas didácticas para los Núcleos de Aprendizajes Prioritarios de Ciencias Naturales. Publicado por el Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología de la Nación, 2006.

#### Los nombres del cielo

Publicado por el Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología como parte de la colección “La ciencia, una forma de leer el mundo” de la Campaña Nacional de Lectura. Buenos Aires, 2005.

#### El primer astrónomo criollo

Publicado por el Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología como parte de la colección “La ciencia, una forma de leer el mundo” de la Campaña Nacional de Lectura. Buenos Aires, 2005.

#### Átomo 9 – Ciencias naturales

Coautoría con J.A. Hurrell, M.S. Leschutta Vázquez y A. Rela. Publicado por Ediciones SM, Buenos Aires, 2004.

#### Física y Química - Polimodal

Libro en coautoría con A. Candás, D. Fernández, G. Gordillo, J. Rubinstein, y E. Wolf. Libro de texto para las asignaturas Química y Física del Nivel Polimodal. Publicado por Editorial Estrada. Buenos Aires. 1ª edición: 2001.

#### Física I – Polimodal

Libro en coautoría con Jorge Rubinstein. Texto de contenidos para la

materia Física del Nivel Polimodal. Publicado por la Editorial Estrada. Buenos Aires. 1ª edición: 1999.

#### Manual para EGB de la Provincia de Buenos Aires

Libro en coautoría con A.M. Bertagnoli, S. Palermo, J. Sellés Martínez, L. Socolosky y L. Fumagalli (comp.). Editorial Estrada. Buenos Aires. 1ª edición: 1999.

#### Manual para EGB de la República Argentina

Libro en coautoría con A.M. Bertagnoli, S. Palermo, J. Seliés Martínez, L. Socolosky y L. Fumagalli (comp.). Editorial Estrada. Buenos Aires. 1ª edición: 1999.

#### Ciencias Naturales

Libro en coautoría con A.M. Bertagnoli, S. Palermo, J. Seliés Martínez, L. Socolosky y L. Fumagalli (comp.). Editorial Estrada. Buenos Aires. 1ª Edición: 1998.

#### Quesún: Primer diccionario de Astronomía para niños

Ediciones Colihue. Buenos Aires. (1ª Edición, 1990, 8ª reimpresión: 2000).

#### Astronomía en Liliput

Texto para la enseñanza de la astronomía para chicos y chicas del Nivel Inicial. Ediciones Colihue, Buenos Aires. 1ª edición: 1997.

#### FORCIENCIAS 1 - La Tierra en el Universo: el Sistema Solar

Libro 1 de la Unidad 5, del curso a distancia Forciencias. Ministerio de Educación y Cultura (España) y Universidad Autónoma de Barcelona. Madrid. 1ª edición: 1997.

índice  
índice



## 5 Dedicatoria

## 7 Prólogos

Palabras de Alicia Bañuelos.....	8
Palabras de Hugo Levato.....	10
Palabras de Horacio Tignanelli.....	14

## 19 La mirada de la historia

1. El cielo.....	20
2. La observación de los astros.....	23
2.1 La mirada de los astrónomos de Babilonia.....	25
2.2 La mirada de los astrónomos griegos.....	28
3. La precisión en la medida.....	33
4. Constructores de instrumentos.....	36
4.1 Notas sobre la biblioteca de Alejandría y la mirada de sus principales astrónomos.....	38
4.2 La mirada de Tolomeo.....	41
4.3 Los excéntricos de Tolomeo.....	42
4.4 Los epiciclos de Tolomeo.....	42
4.5 Los ecuantos de Tolomeo.....	43
4.6 El modelo completo.....	44
4.7 El Almagesto.....	44
5. La mirada árabe.....	46
6. La mirada europea.....	52
7. Tycho Brahe.....	55
7.1 Uraniburg.....	55
7.2 La mirada de Tycho Brahe.....	58

## 61 El observatorio

1. Introducción.....	62
2. Fundamentos.....	64
3. Descripción general.....	67
3.1 Ingreso, bancos y carteles.....	71
3.2 Inauguración.....	73

3.3 Antecedentes y realizadores.....	75
--------------------------------------	----

## 77 Dispositivos

Plano El solar de las miradas.....	79
Gnomón.....	81
Polos.....	86
Relojes de Sol.....	91
Reloj Solar Ecuatorial.....	94
Reloj Solar Horizontal.....	96
Reloj Solar Cilíndrico.....	98
Armillas Equinoccial.....	100
Triquetrum.....	104
Armillas Ecuatorial Máxima.....	109
Sextante Astronómico Triangular.....	113
Gran Semicírculo Azimutal.....	117
Registrador de Ángulos Pequeños.....	121
Plinto de Tolomeo.....	124
Rampa Celeste.....	128
Relojes Lunares.....	131
Cúpula de Cristal.....	137
Filum Sidereum.....	141
Globo Terráqueo Paralelo.....	144
Modelos de Levante y de Poniente.....	148
Mirador Circumpolar.....	152
Ventana al Cielo.....	156
Rectangulus.....	159
Ballestilla.....	162
Rosa de los Vientos.....	167
Nefoscopio.....	171
Esfera Armilar.....	175
Tubos para Mirar.....	179
Instrumento de Pasos.....	183
Postes de Direcciones.....	186
Elipse del Jardinero.....	190

Contador de Estrellas.....	193
Constelaciones Dinámicas.....	196
Regla Solsticial.....	201
Veletas.....	204
Torre de Observación.....	208
Modelo Tierra-Luna.....	212
Los Bancos Temáticos y el Sol Móvil.....	216

225 Glosario

237 Bibliografía



Horacio Tignanelli

La ULP es una universidad provincial, sus recursos económicos provienen del Estado provincial. Ha sido creada con el propósito de formar profesionales en áreas estratégicas asociadas al crecimiento y progreso de la Provincia de San Luis.

Su Misión es ser el instrumento provincial para darle a cada habitante de San Luis la oportunidad de formarse intelectual, social y culturalmente.

Siguiendo este criterio, se dictan carreras relacionadas con el Cine –en concordancia con la ley de promoción de la Industria del Cine– y el Desarrollo de Software conforme a la adhesión de la provincia a la Ley Nacional de Promoción del Software. Asimismo, se forman profesionales en las áreas de Turismo; Agro, empresa y Medioambiente, acompañando la pol



