



**Serie**

**PARALAJE**

Observatorio "Héctor Ottonello"  
Colegio Nacional de Buenos Aires  
Universidad de Buenos Aires



## Colección Propuestas

ISSN 1668-0898

Instituto de Investigaciones en Humanidades  
“Dr. Gerardo H. Pagés”  
Colegio Nacional de Buenos Aires  
Universidad de Buenos Aires

Rector

*Dr. Horacio Sanguinetti*

Directora General

*Lic. Rosana Famularo*

Secretaria Académica

*Dra. Analía Iniesta*

Asociación Cooperadora “Amadeo Jacques”

*Sra. María Haydée C. de Cáneva*

Asociación Ex-Alumnos

*Ing. Diana Inés Frumento*

*Arq. Eduardo Elguezabal*

Bolívar 263

C1066AAE – Ciudad Autónoma de Buenos Aires  
Telefax 4334 4328 – Teléfono 4331 0733 (interno 307)  
[instituto@cnba.uba.ar](mailto:instituto@cnba.uba.ar)

**Serie Paralaje**  
**Colección Propuestas**  
Año 7 — N° 16  
Abril 2006

**Comité de lectura del  
presente número**

*Dr. Agustín Adúriz-Bravo*

Dr. en didáctica de la ciencia

*Lic. Karina Caputi*

Investigadora en el Institut  
d'Astrophysique Spatiale

*Dr. Elsa Giacani*

Investigadora en el IAFE

*Dr. Diego Golombek*

Director de la colección  
*Ciencia que Ladra*

*Dr. Hugo Levato*

Director del Complejo Astronómico  
"El Leoncito"

*Lic. Leonardo Moledo*

Director del Planetario  
"Galileo Galilei"

**Correctoras**

*Rosa Dotta Ruiz*

*Lucía Liñares*

**Diseño y armado**

*Gabriel A. Guernik*

**Versión digital**

*Gabriel A. Guernik*

**Ilustración de tapa**

*Alicia Keshishian*

**Coordinación general**

*Ing. Rodolfo Di Peppe*

# Índice

<b>Información general sobre la Serie Paralaje</b> . . . . .	4
<b>La astronomía, los astrónomos y la sociedad</b> . . . . .	7
<i>Leonardo J. Pellizza</i>	
<b>Argentina y las estrellas</b> . . . . .	11
<i>Gabriel A. Guernik</i>	
<b>Analema</b> . . . . .	17
<i>Pablo Vena</i>	
<b>Las dimensiones de la prisión</b> . . . . .	27
<i>Luis G. López</i>	
<b>La pérdida del asombro</b> . . . . .	33
<i>Luis G. López</i>	

## Información general sobre la Serie Paralaje

La serie PARALAJE de la colección *Propuestas* del Instituto de Investigaciones en Humanidades “Dr. Gerardo H. Pagés” del Colegio Nacional de Buenos Aires, está abierta a alumnos, profesores e investigadores de esta institución y, también, a colaboradores externos, tanto nacionales como internacionales.

El nombre de la serie corresponde a uno de los conceptos fundamentales en Astronomía: la paralaje es un efecto óptico por el cual observadores ubicados en distintos lugares ven un mismo objeto en distinta posición. Es —además— el único método directo de medir distancias astronómicas: cuánto más cercano un astro, mayor es su paralaje. La pretensión de esta serie es la de acercar la Astronomía a sus lectores, induciendo de esta forma en ellos la aparición de distintas visiones, perspectivas y lecturas personales de esta apasionante ciencia.

Su Comité de Lectura está formado por especialistas —permanentes e invitados, según los temas tratados en cada número— provenientes de instituciones universitarias, terciarias y culturales afines.

Su periodicidad es anual, y su formato, impreso y electrónico.

Los artículos deben respetar las condiciones que detallamos a continuación:

- Corresponder a una de las siguientes áreas:
  1. Problemas, estrategias y fenómenos propios del aprendizaje y enseñanza de la Astronomía y ciencias afines, especialmente —pero no excluyentemente— en el marco del colegio secundario.
  2. Propuestas de trabajo, observación y experimentación astronómicas, con miras a ser desarrolladas principalmente en el marco de la educación formal secundaria, pero sin excluir otros contextos.
  3. Problemáticas de la actividad astronómica argentina y mundial; experiencias laborales —individuales y grupales— de astrónomos ejerciendo su profesión en la actualidad, en nuestro país y en el extranjero; políticas y gestión científica nacional.
- Estar escritos en castellano.
- Tener una extensión de no más de 4000 palabras acompañadas de un resumen y palabras clave.
- Acompañarse con los datos pertinentes del autor, según correspondan: diplomas; cátedras o cargos en ejercicio; unidad académica en la que se desempeña; título, lugar, editorial y fecha de las tres publicaciones más recientes.
- Los textos se procesan en  $\text{\LaTeX}$ , por lo que se aconseja la presentación en ese formato, \* o como texto plano (*ascii*). En última instancia, pueden ser escritos en formato MS Word o similar. En caso de incluir imágenes, deberá indicarse en el texto el lugar deseado para su inclusión.
- Adjuntar la autorización del autor para la publicación y divulgación de su obra en formato impreso y electrónico por parte del Instituto de Investigaciones en Humanidades “Dr. Gerardo H. Pagés”.

---

\*El ayudante Gabriel Guernik ha preparado una clase especial para la serie; para el envío se puede emplear la clase `article`.

Agradeceremos la recepción de correspondencia, con críticas, comentarios o sugerencias a las siguientes direcciones:

Serie Paralaje, Colección Propuestas  
IIH – CNBA  
Bolívar 263  
(1066) Buenos Aires  
telefax 4334 4328  
[instituto@cnba.uba.ar](mailto:instituto@cnba.uba.ar)  
[www.cnba.uba.ar/instituto/](http://www.cnba.uba.ar/instituto/)

Observatorio “Héctor Ottonello”  
CNBA  
Bolívar 263  
(1066) Buenos Aires  
telefono 4331 0733 (interno 205)  
[astro@cnba.uba.ar](mailto:astro@cnba.uba.ar)  
[www.astro.cnba.uba.ar](http://www.astro.cnba.uba.ar)



# LA ASTRONOMÍA, LOS ASTRÓNOMOS Y LA SOCIEDAD

LEONARDO J. PELLIZZA

SERVICE D'ASTROPHYSIQUE, CEA SACLAY, FRANCE

---

## Resumen

Consultado acerca de la posibilidad de escribir un artículo sobre mi experiencia como astrónomo, que fuera de interés para estudiantes y profesores secundarios, encontré interesante exponer mi visión actual de mi actividad profesional. Tres aspectos me parecen fundamentales: la astronomía como ciencia, la actividad de los astrónomos y su relación con la sociedad. Mi visión de esta ciencia ha cambiado considerablemente desde mi época de estudiante, la actividad profesional me ha dado respuestas a muchos de los interrogantes que tenía antes de elegir esta carrera. Considero importante entonces compartir esta (subjetiva) visión con quienes se encuentran actualmente en la tarea de decidir su futura profesión y consideran la astronomía como una posibilidad. Espero que las respuestas que yo encontré les sean útiles, tanto a ellos como a los docentes encargados de guiarlos en esta búsqueda.

**Palabras Clave:** Investigación — ciencia básica y ciencia aplicada — ciencia y sociedad

---

## La astronomía

Es difícil dar una definición breve y precisa de la astronomía. Un campo del conocimiento humano que evolucionó durante varios milenios seguramente tiene suficientes matices como para desafiar cualquier intento de encasillarlo en una simple frase. El mejor intento probablemente sería el siguiente: *la astronomía es la ciencia que investiga los objetos que se encuentran más allá de los límites de la Tierra*. Sin embargo, esta definición puramente académica olvida que la astronomía, como toda ciencia, es un hecho cultural íntimamente ligado a la sociedad en que se desarrolla a través de sus actores, los astrónomos. Para comprender cabalmente esta actividad humana que llamamos astronomía quizás sería más útil describir su evolución, desde sus orígenes hasta la actualidad. Haré entonces una breve reseña de dicha evolución, enfatizando los aspectos que considero claves para comprender el concepto moderno de esta ciencia.

La astronomía seguramente nació en tiempos muy remotos, probablemente cuando la curiosidad de los primeros hombres los llevó a preguntarse por el Sol, la Luna y las estrellas que veían en el firmamento. Durante largo tiempo, lo único que pudieron hacer los pri-

mitivos astrónomos fue *observar* los astros, y *clasificarlos* cualitativamente según las características observadas. Por ejemplo, desde los albores de la astronomía se separaron los astros en dos clases: *las estrellas*, cuyas posiciones relativas en el cielo se mantienen constantes, y los *planetas*, que se mueven respecto a las estrellas.<sup>1</sup> La astronomía fue entonces en sus orígenes una ciencia *observacional* y *taxativa*.

El primer avance que comenzó a elevarla por encima de este estado de cosas fue la invención de *instrumentos* para *medir* las propiedades de los astros, originalmente sus posiciones en el cielo y por consiguiente sus movimientos. La posibilidad de hacer mediciones permitió pasar de la mera clasificación cualitativa a una *descripción cuantitativa* de las propiedades de los astros. Este avance tuvo varias derivaciones, de las cuales la más importante es la posibilidad de realizar *modelos*, representaciones de algún objeto o fenómeno basadas en suposiciones sencillas, que permiten comprender sus aspectos principales. Como ejemplo se puede citar los modelos del movimiento de los planetas ideados por Ptolomeo en el siglo I d.C. y por Copérnico catorce siglos después.

---

<sup>1</sup>Estas son las definiciones originales de planetas y estrellas; actualmente han cambiado en respuesta al avance del conocimiento sobre ellos.

Los modelos permitieron a su vez realizar *predicciones cuantitativas* acerca del comportamiento de objetos particulares o de la ocurrencia de determinados fenómenos. Con ellas se abrió el camino hacia el moderno método científico, ya que las predicciones pueden ser *comparadas* con nuevas observaciones. Estas comparaciones permiten poner a prueba la validez del modelo; si las predicciones no se cumplen, el mismo debe ser mejorado o descartado. La continua mejora de los instrumentos de medición trajo consigo un conocimiento cada vez más preciso de las propiedades de los astros, mejorando entonces los modelos.

Otro avance significativo se dio en los últimos 400 años, en los que gradualmente comenzó a obtenerse evidencia a favor del hecho de que los astros obedecen a las mismas leyes que los objetos y fenómenos terrestres. El primer ejemplo de esto es la ley de gravitación descubierta por Newton, quien esencialmente mostró que la caída de los cuerpos hacia la Tierra y el movimiento de la Luna eran aspectos diferentes del mismo fenómeno. Otro ejemplo importante es la obtención del espectro solar por Fraunhofer, que mostró que el Sol está compuesto por átomos de la misma naturaleza que los que se encuentran en la Tierra. Este avance dio origen a la astrofísica, interrelacionando a la astronomía con la física de un modo inseparable. Actualmente el objetivo de prácticamente toda investigación en astronomía es comprender, o aportar datos para comprender, desde un punto de vista físico, los objetos y fenómenos en estudio. Más aún, en muchas ocasiones las observaciones astronómicas ayudaron a elaborar, poner a prueba o descartar teorías físicas.

El último gran avance en la astronomía está ocurriendo actualmente. El desarrollo de la Astronáutica abrió la posibilidad de una exploración directa de algunos cuerpos celestes, e inclusive de *experimentar* con ellos, en lugar de restringirse a la observación pasiva. Como ejemplo podemos citar la exploración planetaria actual, o el experimento *Deep Impact* llevado a cabo recientemente.

## Los astrónomos

En el contexto descrito en la sección anterior, los astrónomos son las personas encargadas de llevar a cabo las investigaciones en astronomía. Su misión académica es aplicar el método científico a los objetos y fenómenos que constituyen su campo de estudio, con el fin de comprenderlos mejor y establecer su naturaleza y su relación con otros objetos o eventos en el Universo.

Por lo expuesto anteriormente, la formación profesional de un astrónomo debe incluir una fuerte preparación en física y matemática, la cual logra a través de sus estudios de grado y posgrado en la universidad. Curiosamente, sólo unos pocos países en el mundo (la Argentina entre ellos) tienen universidades que ofrecen carreras de grado en astronomía. En el resto y de acuerdo con el estado actual de la investigación, las universidades ofrecen carreras de grado de física, con postgrados especializados en Astrofísica (esto ocurre también en algunas universidades argentinas). En ambos casos la preparación es similar, luego de cumplir su postgrado, el estudiante obtiene su título de Doctor, el cual lo habilita para realizar investigaciones en astronomía.

El trabajo del astrónomo siempre estuvo rodeado de mitos. La imagen clásica lo muestra siempre observando por “su” telescopio, realizando “descubrimientos”. Nada más alejado de la realidad. En primer lugar, los instrumentos de investigación de vanguardia actuales son tan complejos y costosos que obviamente no son propiedad de un astrónomo, y pocas veces de una institución dedicada a la investigación. La mayor parte de las veces los instrumentos son construidos y operados por consorcios de instituciones (universidades, institutos de investigación, etc.) o directamente instituciones que nuclean a varios países. Los astrónomos utilizan estos telescopios según reglas establecidas por las instituciones que los operan. Estas reglas generalmente requieren que el astrónomo que desea emplear un determinado telescopio prepare una propuesta de observación que incluye un detalle de los astros que va a observar, cómo lo hará, cuánto tiempo requerirá, de

qué modo analizará los resultados, qué piensa obtener de ellos y por qué esto es importante para el avance de la astronomía. Estas propuestas son examinadas por un comité de expertos, que dictamina cuáles de ellas recibirán finalmente el tiempo de observación pedido. La competencia es severa, obtener unas pocas horas en telescopios como el *Very Large Telescope* del *European Southern Observatory* requiere de una preparación muy cuidadosa de la propuesta.

En segundo lugar, es importante recordar que prácticamente en ningún caso el astrónomo realmente *observa*. Los observatorios modernos están diseñados no solamente para detectar luz visible, sino también radiación electromagnética de otras frecuencias (desde radio hasta rayos  $\gamma$ ), partículas como los neutrinos o rayos cósmicos, e inclusive (próximamente) ondas gravitatorias. Muchos de ellos se encuentran en satélites que orbitan la Tierra. “Observar” significa actualmente en realidad “detectar” distintos tipos de portadores de información. Además, aún en los telescopios ópticos, la detección es realizada por instrumentos electrónicos que obtienen imágenes, toman espectros o realizan mediciones, enviando los datos que registran a avanzados sistemas de computación que los procesan, distribuyen al astrónomo y finalmente los archivan. En muchos casos, para aumentar el rendimiento de los datos, los mismos son colocados luego de un tiempo en archivos públicos, de modo que otros astrónomos puedan utilizarlos.

En este contexto, la mayor parte del tiempo el astrónomo se encuentra frente a su computadora, analizando datos o calculando distintos aspectos de una determinada teoría o modelo. El descubrimiento individual también es una falsa visión. Si bien es cierto que existen los descubrimientos por azar en la astronomía, la mayor parte de las veces la ciencia avanza gracias a pequeñas contribuciones de diversos grupos de astrónomos, que van poniendo en su lugar una por una las piezas del rompecabezas que constituye cualquier problema astrofísico. Un pilar importante para el avance de la ciencia es entonces la comunicación entre los distintos investigadores de un grupo,

y entre los distintos grupos. Esta comunicación se logra de distintas maneras, el correo electrónico e Internet juegan un papel fundamental en ellas, pero también es usual que los astrónomos viajen entre distintas instituciones para discutir con sus colegas, o exponer sus resultados en conferencias o congresos. La forma más eficiente de realizar la comunicación de resultados es la publicación de los mismos en revistas especializadas. Estas revistas son leídas (actualmente casi siempre en sus versiones electrónicas) por todos los investigadores, quienes disponen así rápidamente de los resultados de otros para incorporar a sus investigaciones. Como una forma de garantizar la calidad de los resultados publicados, las revistas utilizan un sistema de *revisión por pares*, en el cual todo trabajo se somete a un examen por parte de otros colegas, que dictaminan si corresponde o no publicarlo. Los resultados publicados generan luego nuevas ideas, propuestas de observación, teorías y modelos, comenzando nuevamente el ciclo.

## La sociedad

De entre las preguntas que suelo recibir cuando doy charlas a estudiantes interesados en astronomía, hay una que sobresale generalmente. Los estudiantes se preguntan quién paga los salarios, el instrumental y las investigaciones de los astrónomos. La respuesta a esta pregunta parece sencilla, son instituciones públicas las que (salvo contadas excepciones) pagan los salarios de los astrónomos, aportan el dinero para realizar los congresos y conferencias (incluidos los gastos de viajes y estadía de los participantes), subvencionan la planificación, diseño, desarrollo y construcción de los nuevos instrumentos, y aportan todo el material necesario para realizar las investigaciones (desde los grandes sistemas informáticos hasta el lápiz y el papel). En la Argentina, por ejemplo, las instituciones que realizan la financiación de la investigación astronómica son las universidades y organismos estatales de promoción de la actividad científica, como el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). En otras palabras,

es la sociedad la que se hace cargo de la investigación astronómica, usando para ello parte del dinero que obtiene de los impuestos de los contribuyentes. En Argentina además se da el hecho (inusual en el resto del mundo) de que la universidad es pública y gratuita, lo que implica que la sociedad además paga los estudios de los futuros astrónomos. Para entender por qué se da este orden de cosas en el que la sociedad carga con el costo de la investigación, es indispensable entender la respuesta a otra pregunta usual: la mayor parte de la sociedad se pregunta para qué sirve la astronomía.

La astronomía es una ciencia básica. Esto significa que su objetivo es buscar el conocimiento por el conocimiento mismo, y no por sus posibles usos o aplicaciones. La ciencia básica pretende simplemente satisfacer la natural curiosidad del ser humano por el mundo que lo rodea. Entonces, juzgarla por un criterio utilitarista no tiene sentido. El error no está en la ciencia básica, si no en pretender que toda acción humana debe tener algún rédito en términos monetarios. Del mismo modo es erróneo juzgar con estos criterios a otras actividades, como la poesía o la música. Debemos aceptar entonces, que hay actividades que no pueden entenderse bajo criterios utilitaristas, y que éstas constituyen una parte importante de la riqueza cultural de la Humanidad. Por esto es necesario que estas actividades sean sostenidas por toda la sociedad.

Sin embargo, aunque la ciencia básica no se haga por utilidad, realizarla puede generar inversión y desarrollo para las sociedades involucradas. La gran complejidad de los problemas que estudia la astronomía requiere de instrumental sofisticado. Muchas veces es necesario desarrollar técnicas especiales para llevar a cabo proyectos como los grandes observatorios mundiales. Esto genera la investigación y desarrollo de nuevas tecnologías que pueden luego ser aplicadas a otros problemas de utilidad para la sociedad. Por ello es importante para muchos países participar en los proyec-

tos tecnológicos que constituyen el diseño y construcción de los nuevos instrumentos astronómicos. Los conocimientos derivados de los mismos redundan luego en beneficio de sus sociedades.

Por último, a pesar de que no se haga ciencia básica con el fin de lograr una utilidad práctica, la ciencia es compleja y su desarrollo depende de una gran cantidad de factores, muchos de ellos aleatorios. Muchas veces ocurren avances que por azar se revelan útiles. Tal es el caso, por ejemplo, de la mejora de las técnicas de detección del cáncer originada en la transferencia de técnicas de procesamiento de imágenes generadas originalmente para fines astronómicos. El descubrimiento de elementos químicos en el Sol, que luego fueron buscados, encontrados y utilizados en la Tierra constituye otro ejemplo. No significa esto que deba hacerse astronomía para lograr avances tecnológicos, sino que no debe menospreciarse ningún conocimiento básico, porque no es posible establecer *a priori* qué otras cosas podrán derivarse del mismo. Las sociedades deben seguir fomentando la ciencia básica, porque es uno de los pilares en que se basa el desarrollo de la Humanidad. **SP**

## Noticias del autor

**Dr Leonardo J. Pellizza**

leonardo\_pellizza@yahoo.com.ar

Doctor en Astronomía (UNLP), Licenciado en Física (UBA), Bachiller (CNBA). Trabaja actualmente para el *Service d'Astrophysique del Commissariat à l'Énergie Atomique de la République Française* en Saclay, France, como becario postdoctoral. Trabajó en el IAFE como becario de postgrado del CONICET, y anteriormente como docente del Observatorio del CNBA.

Su área de investigación es la astrofísica de altas energías, particularmente en lo relativo al origen de los objetos compactos.

# ARGENTINA Y LAS ESTRELLAS

GABRIEL A. GUERNIK\*

OBSERVATORIO “HÉCTOR OTTONELLO”, COLEGIO NACIONAL DE BUENOS AIRES  
UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

---

## Resumen

El objetivo de este artículo es, por un lado, presentar cuál es el papel de la astronomía en nuestro país y el de nuestro país en la astronomía, es decir, el rol que desempeña en el concierto de las naciones en lo que a esta ciencia se refiere. Y por otra parte, más importante aún, es ser una referencia con la que los interesados en la astronomía puedan comenzar a investigar las formas de involucrarse con ella de una manera más interactiva. Para ello, se realizará un breve panorama de la actividad astronómica en nuestro país, concentrándose en los proyectos internacionales en los que participa, como el Observatorio Pierre Auger, el Gemini y la competencia para alojar al SKA, y los principales centros de estudio e investigación. Se explicará asimismo el porqué de la aparente disociación entre el emplazamiento de los instrumentos de investigación y los centros de estudio. Concluiremos con una reseña del CASLEO, el principal observatorio nacional, y del IAR.

**Palabras Clave:** investigación — observatorios — universidades

---

Hace algunos años, se puso de moda la palabra “globalización”, y surgieron discusiones acerca de este concepto y de sus beneficios y perjuicios. Al menos en el marco de la ciencia astronómica, no cabe duda de que los proyectos de investigación avanzada se hallan realmente globalizados, en el sentido de que prácticamente todos ellos se desarrollan con participación de muchas instituciones de varios países. Entre las causas de este fenómeno, se puede citar, por un lado, los altos costos de los instrumentos avanzados; y por otro lado, los deseos de cada país de diversificar sus campos de estudio y de desarrollo tecnológico, lo que se consigue más eficientemente a través de la participación, en menor o mayor escala, en proyectos internacionales. Ya se verán ejemplos de esto al repasar la participación argentina en trabajos de este tipo.

Evidentemente, toda esta colaboración carecería de sentido si cada país no poseyese un plantel propio de investigadores calificados que fuesen capaces de aportar al consorcio internacional y de recibir y desarrollar los nuevos conocimientos. Y no me refiero solamente a los astrónomos, sino que entran aquí en juego

otras categorías de científicos y técnicos, como expertos en informática, cálculo numérico, óptica o procesamiento de imágenes, además de todos aquellos que se encargan de la construcción en sí del instrumental astronómico, que llegan a todas las ramas de la industria de alta tecnología.<sup>1</sup> Por lo tanto, describiré también algunos de los sitios en los que se desarrolla la astronomía en la Argentina y donde se forman los futuros investigadores.

\* \* \*

En el marco de la astronomía a nivel internacional, la contribución más importante de nuestro país es sin duda el Observatorio Pierre Auger. Cuando decimos “observatorio” la imagen que generalmente se presenta en nuestras mentes es la de una cúpula hemisférica dentro de la cual se ubica el tubo de un telescopio. Sin embargo, el Pierre Auger no se corresponde en lo más mínimo con ella. Este

---

<sup>1</sup>Puede observarse aquí claramente los potenciales beneficios que un país como el nuestro puede obtener a partir de las investigaciones astronómicas en general y de la participación en proyectos internacionales en particular. Beneficios que se originan en el desarrollo y transferencia de tecnología, que deben ser luego aprovechados en otras áreas de la actividad económica para alcanzar a la mayor cantidad posible de individuos.

---

\*Agradezco los valiosos comentarios y sugerencias del Prof. Luis G. López y del Lic. Rodrigo F. Díaz.

observatorio está emplazado en realidad en dos lugares alejados: en la región de Malargüe, provincia de Mendoza, Argentina, y en Utah, Estados Unidos. En cada uno de estos sitios, se está construyendo una red de 1 500 detectores, separados por 1,5 km, que cubren en total 3000 km<sup>2</sup> por sitio. En cada uno de ellos se ubica además un conjunto de 4 telescopios.

Todo este enorme instrumento está destinado a la observación de los *rayos cósmicos*, que son partículas (en su mayor parte, núcleos atómicos y protones) que viajan por el universo a grandes velocidades, y por lo tanto, con mucha energía. Al llegar a nuestro planeta, estas partículas colisionan en la atmósfera con alguna molécula del aire y producen nuevas partículas, que repiten el proceso una y otra vez,<sup>2</sup> hasta que llegan a la superficie de la Tierra. Este proceso se conoce como *ducha aérea*. Allí por el año 1938, el físico francés Pierre Auger las descubrió y las utilizó para estudiar la energía y la dirección de procedencia de los rayos cósmicos. Además, al viajar por la atmósfera, estas partículas de alta energía ocasionan una débil *fluorescencia ultravioleta*, que puede detectarse con telescopios especiales.

Se cree que la mayor parte de los rayos cósmicos se producen en las *supernovas*, las muertes cataclísmicas de las estrellas más masivas. Sin embargo, es un misterio el origen de los *rayos cósmicos de ultra-alta energía*, o UHECR.<sup>3</sup> Estas partículas llegan con muy poca frecuencia a nuestro planeta, por lo que es necesario contar con gran número de detectores para poder estudiarlas. Ellas son precisamente el objetivo del Observatorio Pierre Auger.

Debido a su gran tamaño, el Pierre Auger es capaz de detectar un número mucho mayor de UHECR que los experimentos anteriores. Además, utiliza dos técnicas distintas y complementarias. Los 4 telescopios son capaces de observar la fluorescencia ultravioleta y los detectores registran las propias partículas. Cada uno de estos detectores está compuesto por

<sup>2</sup>Los rayos cósmicos más energéticos pueden llegar a producir miles de millones de partículas a partir de una sola.

<sup>3</sup>Por las iniciales en inglés: Ultra-High Energy Cosmic Rays.

un tanque de agua purificada de 12 000 litros, junto con sensores fotosensibles, que reciben la radiación luminosa que emiten las partículas muy veloces al viajar por el agua.

Actualmente, el sitio sudamericano del Observatorio está completo en aproximadamente un 60 %. Y ya ha comenzado a producir datos científicos. [1]

\* \* \*

Otro importante proyecto que cuenta con la participación de nuestro país es el Observatorio Gemini, compuesto por dos telescopios, uno en el hemisferio norte (en Mauna Kea, Hawaii) y el otro en el sur (en Cerro Pachón, en el norte de Chile). En cada uno de esos sitios se ubica una cúpula de diseño avanzado, que permite obtener el máximo rendimiento del telescopio que se encuentra dentro de ella. Estos dos telescopios, de idéntico diseño, poseen un espejo primario de 8 m de diámetro, lo que los coloca entre los más potentes del mundo. Pero además, están contruidos con la más nueva tecnología, lo que les posibilita estudiar una gran cantidad de fenómenos astronómicos con gran precisión. Para más información, véase [2].

\* \* \*

Ya para el futuro, la Argentina está compitiendo para ser el sitio donde se instale el *Square Kilometre Array*, o SKA, el mayor radiotelescopio del mundo.

De la misma manera que los telescopios ordinarios registran la luz visible, un radiotelescopio recoge las ondas de radio, otra porción del espectro electromagnético.<sup>4</sup> Y análogamente a como recibimos luz visible de los astros, también llegan a nosotros ondas de radio procedentes de los cielos. Estudiándolas se tiene acceso a otros datos y otros fenómenos astronómicos. En muchos aspectos de la astronomía, son

<sup>4</sup>Así como los distintos colores de la luz se diferencian en la *frecuencia* de la onda, las ondas de radio (y también, por ejemplo, los rayos X o las microondas) difieren de la luz visible solamente en su frecuencia; es decir, son colores de la luz que no podemos ver. Todas las distintas frecuencias de luz forman lo que se conoce como espectro electromagnético.

inapreciables para el investigador.

A causa de la propia naturaleza de las ondas de radio, los radiotelescopios deben ser y pueden ser mucho mayores que los telescopios ópticos. Los mayores telescopios visuales poseen espejos circulares del orden de los 10 u 11 metros de diámetro, mientras que el radiotelescopio con la mayor antena, en el Observatorio de Arecibo, ¡tiene un diámetro de 305 m!

Sin embargo, el SKA será mucho más potente. No estará compuesto por una sola antena, sino por muchas que trabajarán en conjunto.<sup>5</sup> Su diseño todavía está siendo debatido, y hay varias propuestas muy novedosas, tanto en la disposición como en el propio diseño de las antenas. De hecho, se está llevando a cabo la construcción de prototipos experimentales a escala reducida de varios de estos diseños. Por ejemplo, una propuesta incluye 150 estaciones, cada una compuesta a su vez por varias antenas (que en conjunto equivalen a una sola antena de 90 m de diámetro por estación), separadas entre sí por hasta un máximo de 3 000 km.

La capacidad de un telescopio se mide principalmente por dos parámetros: el *poder colector* y el *poder de resolución*. El poder colector se corresponde con la cantidad de señal que recibe el instrumento, y por lo tanto, con el tamaño o superficie de la antena, lente o espejo. Mientras que el poder de resolución se mide por la capacidad del telescopio de distinguir o “resolver” objetos muy cercanos entre sí en el cielo. En estos aspectos, el SKA poseerá el poder colector de una antena de más de 1 km de diámetro, pero el poder de resolución de una de... ¡varios miles de kilómetros!

En este proyecto participan 15 países de todo el mundo. Como ya se dijo más arriba, aún se encuentra en etapa de diseño y pruebas de tecnología, además de la selección del sitio de instalación. Hay 4 países en competencia para albergar este gran instrumento: Argentina, Sudáfrica, China y Australia. La decisión final se espera para mediados del año 2006.

<sup>5</sup>Pero no será pionero en esto, ya otros telescopios usan esta técnica, llamada interferometría.

¡Ojalá tengamos suerte! [3]

\* \* \*

Ya han pasado los tiempos en que los astrónomos empleaban noches interminables delante de los oculares de sus telescopios, esforzándose en estudiar detalles o cambios en pequeñas manchas de luz que una persona ajena a esta ciencia ni siquiera hubiese sido capaz de distinguir.<sup>6</sup> En la era de la comunicación a distancia, del fácil intercambio de información, los investigadores pueden establecerse cómodamente en sus despachos, en sus lugares de trabajo habituales, y recibir en tiempo real o con poco retraso los datos tomados por instrumentos que se encuentran a miles de kilómetros de distancia. Y deben estar agradecidos de que esto pueda ser así, ya que los instrumentos de investigación astronómica se emplazan en lugares bastante inhóspitos, como los más secos desiertos o altas montañas alejadas de todos los centros poblados.<sup>7</sup>

El porqué de esta ubicación seguramente ha sido experimentado por la mayoría de los lectores. Cualquiera que habite en una gran urbe y ocasionalmente se encuentre alejado de todas ellas, podrá comprobar la riqueza del cielo nocturno y la multitud de estrellas (y si se sabe mirar, de otros objetos astronómicos) que es posible observar allí, en comparación con los tristes pocos astros que son visibles desde su hogar.

Esto tiene una fácil explicación: el aire de las grandes ciudades se encuentra altamente contaminado por los automotores y las fábricas, con lo que oscurece la luz que nos llega de las estrellas y refleja las luces nocturnas de la ciudad. Por lo tanto, los objetos tenues se diluyen en este resplandor del cielo nocturno y resultan inaccesibles a nuestros ojos.

Evidentemente, se presenta la misma degra-

<sup>6</sup>Al menos para la mayoría de los astrónomos profesionales; un número tal vez mayor de astrónomos aficionados encuentra gran satisfacción en sacrificar su sueño nocturno en favor de estas actividades.

<sup>7</sup>Aunque uno de los lugares preferidos por los mayores telescopios, la cima de un volcán extinto en Mauna Kea, Hawaii, se encuentra a poca distancia de playas paradisíacas.

dación en la calidad de las imágenes observadas a través de un telescopio, por potente que este sea. Con lo cual, se intuye que no es una buena idea situar un observatorio en las cercanías de una ciudad.

Esta situación ejemplifica un fenómeno más general: la *distorsión* que sufre la luz de las estrellas antes de llegar a nosotros, y que se produce en la atmósfera terrestre. Un efecto análogo es experimentable en la vida cotidiana. Pruébese mirar a través del aire que se eleva de un fuego más o menos importante, del vapor que sale de una pava o a lo largo de una avenida congestionada en un tórrido día estival. Se notará en cada uno de estos casos que las imágenes parecen oscilar o “danzar” (a pesar de que los objetos que las originan están en realidad perfectamente quietos). Esto se produce a causa de que el aire de distintas temperaturas refracta las ondas luminosas, lo mismo que un prisma o un vaso de agua.

En la observación astronómica, este fenómeno trae funestas consecuencias: las estrellas, esos puntos luminosos, dejan de percibirse como puntos y pasan a ser borrones irregulares y cambiantes. Esto dificulta grandemente la investigación, y mucho esfuerzo (y dinero) se ha invertido para disminuir o corregir esas distorsiones. Técnicas como la *óptica adaptativa* aparecieron recién en los años 90, gracias en parte al incremento de la velocidad de procesamiento de los ordenadores.<sup>8</sup>

Mucho antes de esto (y aún hoy), la mejor manera de disminuir en lo posible la distorsión atmosférica es situar los instrumentos en lugares altos y de clima seco. El remedio último, situar el telescopio fuera de la atmósfera, se llevó a cabo de manera espectacular con la puesta en órbita del Telescopio Espacial Hubble.<sup>9</sup>

\* \* \*

<sup>8</sup>La óptica adaptativa consiste en deformar y adaptar un espejo muy delgado, en milésimas de segundo, para adaptarse a la luz que recibe el telescopio y cancelar la refracción atmosférica.

<sup>9</sup>Aunque antes hubo otros telescopios orbitando la Tierra, el Hubble fue un gran salto cuantitativo, que permitió realizar estudios antes impensados.

Es por todo esto que se ha explicado que, aunque el principal observatorio nacional se encuentre en un remoto paraje de San Juan, los principales centros de investigación astronómica están ubicados en grandes ciudades, como Buenos Aires, La Plata, Córdoba o San Juan.

En la ciudad de Buenos Aires, se encuentra el *Instituto de Astronomía y Física del Espacio* (IAFE), [4] creado por el *Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas* (CONICET) [5] en el año 1971. Cuenta con varios grupos de investigación, que se dedican a temas que van desde la atmósfera terrestre a la evolución y origen del universo, pasando por áreas como física solar, sistemas estelares, remanentes de supernovas,<sup>10</sup> o incluso, complejos temas teóricos sobre la gravedad y la física de partículas.

En La Plata, provincia de Buenos Aires, se ubica la *Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas* (FCAGLP), [6] dependiente de la *Universidad Nacional de La Plata* (UNLP), que se originó a partir del Observatorio Astronómico de La Plata, fundado en 1883. Allí también se realizan diversas investigaciones, sobre, por ejemplo, el magnetismo terrestre y la interacción con el viento solar,<sup>11</sup> estrellas y modelos estelares, cúmulos estelares<sup>12</sup> o la estructura de las galaxias, entre otros.

Otro importante centro de investigación es el *Observatorio Astronómico de Córdoba* (OAC), [7] dependiente de la *Universidad Nacional de Córdoba*. Allí se abarcan campos como la estructura de las estrellas, mecánica celeste, el medio interestelar o la estructura a gran escala del universo. Además, y esto vale para también para las otras instituciones aquí mencionadas, realiza una importante labor de divulgación astronómica para público no especializado, que

<sup>10</sup>Los restos de la explosión con que finaliza la vida de ciertas estrellas.

<sup>11</sup>El viento solar es una lluvia de partículas que arroja el Sol al espacio y que en parte llegan a nuestro planeta, interactuando con la atmósfera y produciendo fenómenos como las auroras polares.

<sup>12</sup>Grupos de estrellas que se ubican dentro de las galaxias, que pueden contar con decenas a millones de integrantes.

incluye ciclos de conferencias y visitas guiadas.

Del OAC depende la Estación Astrofísica de Bosque Alegre, situada en las sierras chicas de Córdoba. Allí se ubica una cúpula principal que alberga un telescopio reflector de 154 cm, construido en Estados Unidos en 1939, pero actualizado con moderno instrumental electrónico.

En la *Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* de la *Universidad Nacional de San Juan*, existe un Departamento de Geofísica y Astronomía, [8] donde se realizan estudios de sistema solar y de ciertas clases de estrellas, entre otros. Además, de esta facultad depende el *Observatorio Astronómico “Félix Aguilar”*, [9] que tiene a su cargo la Estación Astronómica de Altura “Dr. Carlos U. Cesco”, ubicada en el Departamento de Calingasta. Allí existen varios instrumentos de investigación, entre los que se destacan el *Círculo Meridiano Automático de San Fernando*, el coronógrafo *MICA*<sup>13</sup> y el telescopio solar *HASTA*.<sup>14</sup>

Un círculo meridiano es un telescopio óptico con movimientos restringidos al plano vertical que incluye los polos celestes, y que se destina a medir la posiciones de los astros; el Círculo Meridiano Automático está automatizado, es decir, es controlado por una computadora que se encarga de manejar sus movimientos y de realizar las mediciones. Es capaz de observar más de 100 000 estrellas por noche y de calcular sus coordenadas con gran precisión.

El *MICA* [10] es un telescopio especial, destinado al estudio de la *corona*, la capa más exterior del Sol, muy tenue y que se extiende por millones de kilómetros. Mientras que el *HASTA* [11] estudia una longitud de onda muy específica (es decir, un color en particular) de la luz solar, para investigar los fenómenos que se producen en la “superficie” del sol. Ambos instrumentos se ubican en el mismo edificio, y están interconectados, de tal manera que comparten ciertos datos. Son fruto de acuerdos realizados con el IAFE, el *Instituto Max Planck de Aeronomía* (MPAe),<sup>15</sup> y el *Instituto*

*Max Planck de Física Extraterrestre* (MPE), ambos de Alemania.

\* \* \*

Las investigaciones de los astrónomos pertenecientes a las instituciones mencionadas se realizan tanto con instrumentos situados en nuestro país como con otros emplazados en el extranjero. Ya hablamos de algunos de los principales observatorios ubicados en la Argentina, pero el observatorio nacional más importante es el *Complejo Astronómico El Leoncito*, [12] situado en el departamento de Calingasta, provincia de San Juan. El principal instrumento es un telescopio con un espejo primario de 2,15 m, que cuenta con diversas cámaras y espectrógrafos que le permiten realizar estudios de variada índole.

Otro importante instrumento es el *Telescopio Solar para Ondas Submilimétricas* (SST<sup>16</sup>), destinado al estudio de los fenómenos que ocurren en la atmósfera solar, como las fulguraciones. Este telescopio es el resultado de un acuerdo entre el CASLEO, el IAFE, el *Centro de Radioastronomía y Aplicaciones Espaciales*, el *Centro de Ciencias, Aplicaciones y Tecnologías Espaciales* (estos dos últimos de Brasil) y el *Instituto de Física Aplicada*, de Suiza. [13]

\* \* \*

Otra institución importante es el *Instituto Argentino de Radioastronomía* (IAR), [14] que se dedica a tareas tanto de investigación como de desarrollo técnico en el campo de la radioastronomía. Está ubicado en el Parque Pereyra Iraola, a 20 km de la ciudad de La Plata. Cuenta con 2 antenas de 30 m de diámetro cada una, que por su diseño se destinan principalmente a estudios de grandes zonas del cielo, más que a objetos específicos. Colabora en diversos grupos de investigación, en temas tan diversos como la interacción de las estrellas con el medio interestelar, la estructura de la Vía Láctea o la astrofísica relativista, además de una línea de estudio encuadrada dentro del

<sup>13</sup>Mirror Coronagraph for Argentina.

<sup>14</sup>H-alpha Solar Telescope for Argentina.

<sup>15</sup>Actualmente Instituto Max Planck para Investi-

gaciones del Sistema Solar.

<sup>16</sup>Solar Submillimetric Telescope.

programa de búsqueda de vida extraterrestre SETI.<sup>17</sup>

\* \* \*

Espero que lo que expuesto en este breve artículo permita que los lectores se percaten de que en nuestro país, la ciencia astronómica se encuentra viva, a pesar de todos los problemas en los que se hallan sumergidos los que la practican, problemas que afectan a la investigación científica en general y seguramente conocidos por todos. La Argentina, al igual que otros países del tercer mundo, es capaz (y lo hace) de aportar valiosos conocimientos científicos, si no a la par de los realizados por países de mayor poder económico, sí útiles para la comunidad científica. Además de participar en varios proyectos internacionales, contamos con un desarrollado plantel científico y técnico que contribuye en ellos.

Espero a la vez que esto aliente a todos aquellos que desean penetrar en el conocimiento de esta hermosa ciencia, mostrándoles que bien cerca de ellos se realiza investigación de avanzada. Les recomiendo especialmente que consulten las referencias listadas más adelante, ya que allí podrán ampliar en gran medida los datos aquí recopilados. **SP**

## Referencias bibliográficas

- [1] <http://www.auger.org.ar/cientifico/home.htm>
- [2] <http://www.gemini.edu.ar/>
- [3] <http://www.skatelescope.org/index.htm>
- [4] <http://www.iafe.uba.ar/>
- [5] <http://www.conicet.gov.ar/>
- [6] <http://www.fcaglp.unlp.edu.ar/>
- [7] <http://www.oac.uncor.edu/>
- [8] <http://www.fcefn.unsj-cuim.edu.ar/departamentos/geofisica/autoridades.htm>
- [9] <http://www.oafa.fcefn.unsj-cuim.edu.ar/>
- [10] [http://star.mpae.gwdg.de/mica/mica\\_home.htm](http://star.mpae.gwdg.de/mica/mica_home.htm)
- [11] <http://www.fcefn.unsj-cuim.edu.ar/hasta/>
- [12] <http://www.casleo.gov.ar/>
- [13] [http://www.craam.mackenzie.br/sst/sst\\_eng.html](http://www.craam.mackenzie.br/sst/sst_eng.html)
- [14] <http://www.iar.unlp.edu.ar/>

## Noticias del autor

**Gabriel A. Guernik**

guerni@cnba.uba.ar

Ayudante en el Observatorio “Héctor Ottone-  
llo”, ayudante en el Departamento de Ma-  
temática, Facultad de Ciencias Exactas y Na-  
turales, UBA. Docente del Curso de Astro-  
nomía en el Observatorio “Héctor Ottone-  
llo”.

---

<sup>17</sup>Search for Extraterrestrial Intelligence

# ANALEMA

PABLO VENA

OBSERVATORIO DEL COLEGIO NACIONAL DE BUENOS AIRES “HÉCTOR OTTONELLO”  
UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

---

## Resumen

En verano, solemos disfrutar de bellos atardeceres muy tardíos y, en invierno, para fortuna de los astrónomos, de noches muy tempranas. Luego, el ángulo con el que caen los rayos solares respecto del suelo en verano y en invierno es claramente distinto siendo mayor en verano. Esto indica que la duración de los sucesivos días que componen nuestro año no es uniforme produciendo un *estiramiento* de la parte oscura del día en invierno y una *contracción* de la parte iluminada durante el verano. Un hecho que confirma esta idea es la diferencia entre la hora que marca un reloj de Sol y la hora de nuestros relojes.

Las respuestas a estos interrogantes están relacionadas directamente con el objeto celeste más importante para nosotros como seres vivos: el Sol. Este fenómeno astronómico, llamado *analema*, tiene la particularidad de ser accesible en su estudio facilitando la articulación de un trabajo de investigación, acorde a la dificultad buscada, apto para todo público. El fin de este artículo es brindar las pautas necesarias a quien lo desee para poder reproducir el analema y aportar algunas ideas que permitan esclarecer las causas físicas y astronómicas de este fenómeno.

**Palabras Clave:** analema — gnomón — eje de rotación — órbita elíptica

---

La experiencia de algunas noches estrelladas nos permite notar que el cielo, visto como una bóveda repleta de puntos luminosos, gira alrededor nuestro completando una vuelta en un tiempo que relacionamos intuitivamente con la noción de *día*. Las estrellas que están hacia el Este, se elevan, mientras que las que están hacia el Oeste bajan hacia el horizonte hasta desaparecer. Así, los astros describen círculos alrededor del mismo centro (figura 1), en sentido Este-Oeste, demorando todos el mismo tiempo. Este fenómeno halla su explicación en la rotación de la Tierra en el sentido opuesto (Oeste-Este) a la rotación aparente de los astros, sobre el eje que, atravesando la Tierra, pasa por el punto alrededor del cual rotan las estrellas (eje terrestre). A este movimiento aparente de los astros lo bautizaremos “*movimiento diurno*”.

Después de su salida, cualquier astro va aumentando gradualmente su altura sobre el horizonte hasta alcanzar un valor máximo, *culminación superior*. Luego, va disminuyendo gradualmente su altura hasta su puesta u *ocaso*. La salida, culminación y puesta forman parte del movimiento diurno del astro.

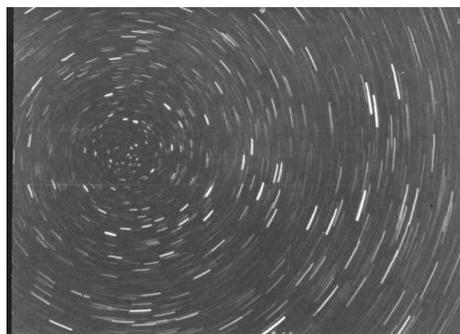


Figura 1: **Movimiento diurno** La imagen muestra el trazo de estrellas producto de la rotación de la Tierra sobre su eje. La cruz indica por dónde pasa el eje de rotación.

Si, en particular, centráramos nuestra atención en el Sol y prolongásemos su observación a lo largo de un año, nos percataríamos, aparte de su movimiento diurno, de un movimiento muy particular que le es propio. El *movimiento propio* debe entenderse de la misma forma en la que comprendemos el de la Luna. Al comparar la posición de la Luna con un fondo estrellado, notamos que la Luna se mueve respecto de él. Si pudiéramos contrastar la posición del Sol con un fondo estrellado, ocurriría lo mismo.

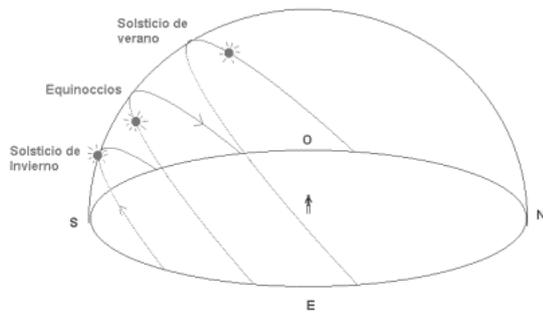


Figura 2: **Movimiento del Sol.** A lo largo de varios meses, los puntos de salida, culminación y puesta van modificándose para repetirse al año siguiente.

El estudio sistemático del movimiento diurno del Sol, en un intervalo de tiempo suficientemente largo, arroja diferentes puntos de salida y puesta, y distintas alturas en la que éste culmina (figura 2). Así, observamos que diariamente el Sol sale por el horizonte (lado Este), alcanza una cierta altura, que es máxima al cruzar el meridiano del lugar de observación y al atardecer se oculta por el horizonte (por el Oeste). Este movimiento se repite día tras día, pero los puntos de salida y puesta, así como la altura máxima, son cambiantes a lo largo del año. Sin embargo, las posiciones se repiten respetando el periodo de un año.<sup>1</sup> Un ejemplo cotidiano de los distintos puntos de culminación, es notar que al mediodía el Sol se encuentra más alto en verano que en invierno.

Si fotografiásemos al Sol a la **misma** hora cada día durante un año entero, acabamos de ver que no aparecerá en la misma posición, exhibiendo su *movimiento propio*. Lo peculiar es que la superposición de todas las fotos tomadas conformarían, trazada en el cielo, una intrigante figura con forma de ocho inclinado (figura 3) con un lóbulo más abultado que el otro, llamada *analema*.

Inmediatamente surge una gran pregunta, ¿qué factores producen que el analema tenga esta singular forma?. Intentemos dilucidar qué significa que el analema sea un ocho en términos del movimiento aparente del Sol.

<sup>1</sup>Vale aclarar que no son exactamente las mismas posiciones pero las razones exceden el alcance del presente artículo.



Figura 3: **Analema.** Fotografiando al Sol durante un año siempre a la misma hora y superponiendo las imágenes, se obtiene, trazada en el cielo, la figura de un 8 inclinado. Cada punto brillante se corresponde con cada foto tomada

## Las causas

La Tierra, en su viaje a través del espacio posee varios movimientos debidos a su forma por un lado, y, por otro, a las interacciones gravitacionales con otros astros. Dentro de estos movimientos existen dos que se destacan por su notoriedad y que marcan periodos muy perceptibles como son el día y el año. Nos estamos refiriendo a la *rotación* y a la *traslación* alrededor del Sol.

La característica que destaca al Sol entre las otras estrellas es que la Tierra orbita alrededor suyo y, por ende, es su estrella más cercana. Para poder comparar, tengamos en cuenta que la estrella más cercana después del Sol (Próxima Centauri) se halla a una distancia de 4 años luz. O sea, la luz, cuya velocidad es de 300 000 km/s, tarda 4 años en llegar a la Tierra, mientras que el Sol se encuentra a 8 minutos luz, o bien, 0,0000038052 años luz.

Al ser tan lejanas las estrellas, la traslación de la Tierra respecto de ellas se vuelve imperceptible. En cambio, para el Sol las cosas son distintas. Debido a su cercanía, también percibimos su *traslación*, en realidad, la traslación de la Tierra alrededor del Sol. Es decir que el movimiento de traslación afecta la posición del Sol en el cielo ya que es una estrella muy cercana. Así, el Sol resulta un mal patrón para medir tiempos, lo cual se verifica en las diferencias que presentan los relojes solares y los relojes comunes, quedando expuesta esta

falencia en el analema.

Esta observación nos obliga a considerar, para analizar el recorrido del Sol por el cielo, la suma de los efectos producidos por la rotación y la traslación terrestre.

Para una mejor comprensión del analema, descompongamos la figura en dos: el movimiento a lo largo del 8 o *longitudinal* y el movimiento *transversal*. La explicación del largo del analema (figura 4) se debe a la inclinación del eje terrestre durante la traslación, mientras que el movimiento transversal, se debe a lo mismo con un agregado: la excentricidad de la órbita.

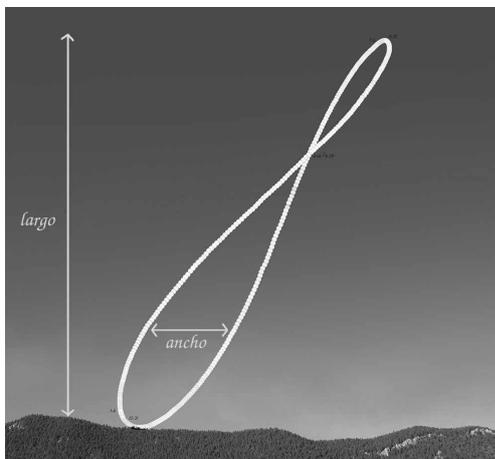


Figura 4: A fin de organizar la explicación, descompongamos la figura del analema en dos ejes. El movimiento *transversal* es el asociado al ancho del ocho y el movimiento *longitudinal* al largo de la figura. Nótese que el largo se mide como la resta de las alturas sobre el horizonte de los extremos del ocho y no como la longitud del segmento que une ambos puntos.

## La inclinación del eje

Comenzando por la explicación sobre el largo del analema, nos remitiremos al factor que causa el ciclo de las estaciones. El eje de la Tierra tiene una inclinación de  $66^{\circ} 30'$  con respecto al plano por el cual orbita nuestro planeta alrededor del Sol y, mientras la Tierra recorre su órbita apunta siempre al mismo lugar del espacio (se mantiene paralelo a sí mismo).

La inclinación del eje provoca que, conforme la Tierra orbita alrededor del Sol, cada

hemisferio del planeta reciba la luz del Sol en forma directa o más o menos oblicua y, por lo tanto, con menor intensidad, lo cual da lugar a las estaciones: primavera, verano, otoño e invierno.

De esta manera, la inclinación del eje terrestre provoca que el Sol se encuentre en dos oportunidades a distancia máxima del plano de rotación<sup>2</sup> y en otros dos momentos sobre el Ecuador Celeste. Estos momentos de máxima y mínima separación son los *solsticios* y los *equinoccios* respectivamente (figura 5). Esta es la razón del largo del analema, veamos cómo la inclinación también contribuye al ancho de la figura.

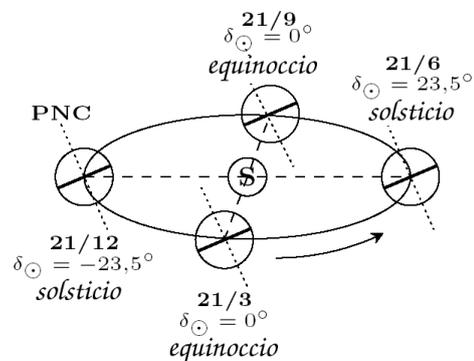


Figura 5: **Explicación del movimiento anual aparente del Sol.** En la figura vemos cómo, al mantener el eje terrestre una misma inclinación (en dirección y valor), el ángulo entre el Ecuador celeste y el plano de la órbita terrestre varía produciendo momentos de máxima y mínima separación: los solsticios y equinoccios. El eje de la Tierra está marcado en línea punteada, y el ecuador en línea gruesa.

Asumiendo que la órbita de la Tierra es circular, el movimiento aparente del Sol a lo largo del gran círculo será regular, cubriendo ángulos iguales en tiempos iguales en virtud de una de las leyes enunciadas por el astrónomo Johannes Kepler.<sup>3</sup> Si el eje de rotación

<sup>2</sup>La Tierra rota alrededor del *Eje del Mundo* que es perpendicular al plano de rotación llamado *Ecuador Celeste*.

<sup>3</sup>Johannes Kepler (1571-1630) enunció tres leyes que rigen el movimiento planetario. Solo nos interesaremos en las dos primeras: 1) Las órbitas son elípticas (el círculo es una de ellas), 2) La línea que une el Sol con el planeta barre áreas iguales en intervalos de

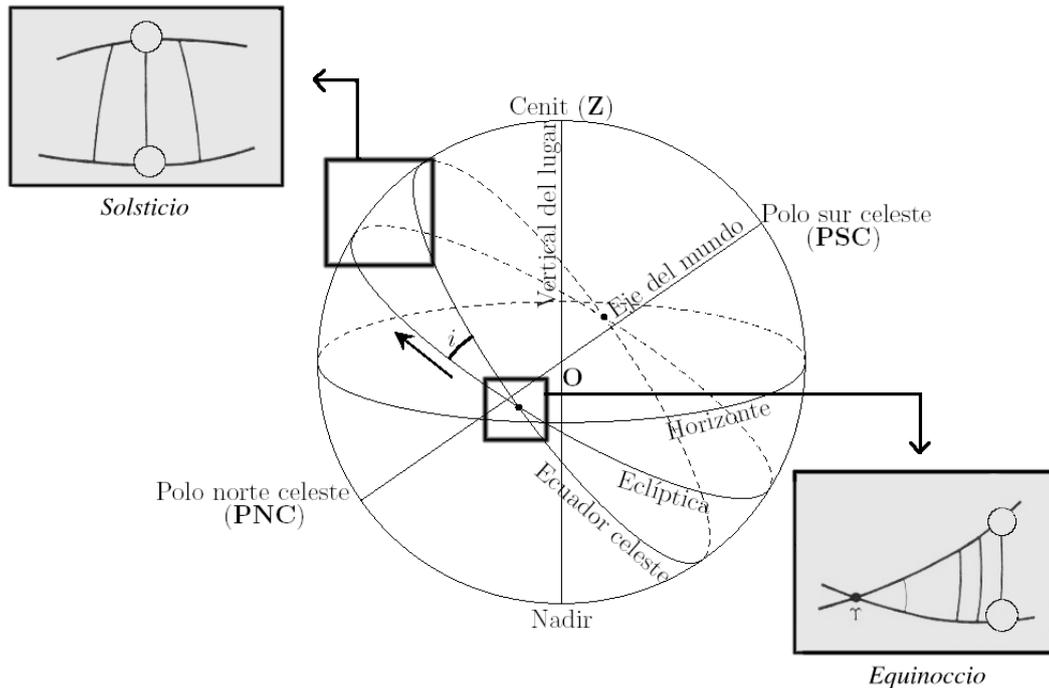


Figura 6: Mientras la Tierra rota alrededor del eje terrestre, el Sol se desplaza por la Eclíptica (traslación) que corta en dos ocasiones al Ecuador celeste pues están inclinadas entre sí  $23^{\circ}30'$ . La flecha indica el sentido del movimiento aparente anual del Sol. El cuadro de la esquina superior muestra que en los solsticios las órbitas del Sol y su proyección sobre el Ecuador celeste tienden a ser paralelas mientras que en el otro cuadro queda en evidencia que intervalos iguales recorridos por el Sol se corresponden con intervalos muy dispares recorridos por su proyección

no estuviera inclinado el Sol aparecería en el mismo lugar todos los días a la misma hora (en el caso de órbita circular).

Un truco para entender el aporte de este factor es mirar la proyección de este movimiento sobre el Ecuador celeste. La proyección muestra el movimiento que tendría el Sol si el eje no estuviera inclinado: todos los días a la misma hora, el Sol aparecería en la misma posición. En este caso, el movimiento del Sol sería sobre el Ecuador celeste. El camino que recorre el Sol, en realidad, está inclinado respecto del Ecuador un cierto ángulo llamado *oblicuidad* de la órbita. Al estudiar la proyección sobre el plano de rotación de la Tierra estamos, indirectamente, analizando si el Sol sirve como un patrón de tiempo. En general, para medir tiempos siempre se recurre a fenómenos periódicos (que se repiten) de fácil estudio. Uno de ellos es la rotación de los astros.

En el caso del Sol veremos si su proyección tiempo iguales.

sobre el plano de rotación terrestre se comporta de forma agradable, es decir, si intervalos constantes de la órbita del Sol se corresponden con intervalos constantes de la proyección sobre el Ecuador celeste (figura 6).

Recordando que asumimos la órbita de la Tierra circular, la velocidad del Sol resulta constante. Supongamos que éste comienza a moverse desde uno de los equinoccios, entonces el Sol recorre, en tiempos iguales, trozos iguales de órbita. Considerando la figura 6 resulta claro que la proyección no recorre trozos iguales en tiempos iguales. Para mayor claridad basta revisar los casos próximos a los equinoccios y solsticios como se indica en los recuadros de la figura 6. En conclusión, el Sol fluctúa su marcha respecto de su proyección. Es claro que el tiempo medido según el Sol se adelanta y atrasa a lo largo del año respecto de la proyección (revise atentamente la figura 6).

Consecuentemente a este efecto, durante los equinoccios el Sol está por encima del horizon-

te el mismo tiempo que por debajo, ya que mientras la Tierra rota, el Sol corta al Ecuador celeste. Por el contrario durante los solsticios el Sol pasará más tiempo sobre el horizonte que debajo del mismo. Esto ocurre entre el 21 de septiembre y el 21 de marzo, y explica que en ese intervalo de tiempo los días duren más que las noches. Lo contrario ocurre entre el 21 de marzo y el 21 de septiembre, época en la cual las noches son más largas que los días en nuestras latitudes. Así, también logramos explicar que el Sol aparecerá más alto durante el verano y más bajo durante el invierno. Ahora queda claro que este factor es la componente que produce el “largo” del analema pues se encarga de variar la altura del Sol a lo largo del año.

Más aún, los extremos del ocho se corresponden con los solsticios, pues son los puntos de máxima separación entre la órbita solar y el plano de rotación terrestre. Estaríamos tentados a decir, haciendo uso de una simple analogía, que la unión de ambos lóbulos del 8 se corresponde con los equinoccios de primavera y otoño, momentos en los que la órbita de Sol cruza el Ecuador celeste. Sin embargo, basta recordar que la esencia del analema es reflejar el defasaje entre la hora Solar y la hora real. Entonces, el punto de unión ocurre cuando la hora media y la solar coinciden.

## La traslación

Pasemos al segundo factor. Durante la traslación, la Tierra se mueve sobre una órbita elíptica,<sup>4</sup> por lo cual la velocidad de traslación de la Tierra varía a lo largo del año (tiempo en el que recorre la órbita). Al estar más cerca del Sol, la Tierra se mueve más aprisa, y cuanto más lejos se traslada más lento, en virtud de la segunda de Kepler.

Supongamos por un momento que la órbita terrestre resulta un círculo con el Sol en

<sup>4</sup>La elipse es la figura descrita por el conjunto de los puntos tales que la suma de las distancias de uno de ellos a otros dos puntos fijos (llamados focos) es igual a una constante fija. A los efectos de este trabajo, una elipse es la figura que se produce al aplastar un círculo.

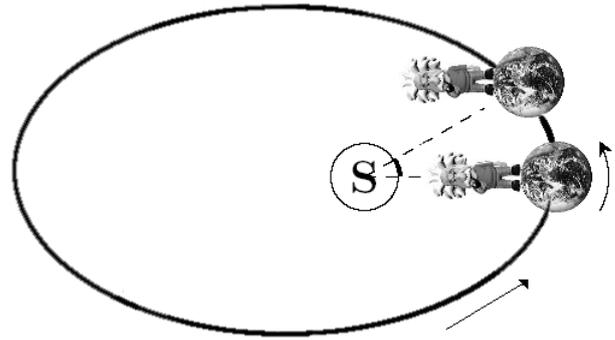


Figura 7: **Variaciones del día solar.** En la figura vemos el plano de la órbita terrestre perpendicularmente desde el norte. La rotación de la Tierra provoca la rotación aparente de todo el cielo, pero la traslación, al ser del mismo sentido, causa además que con respecto a los demás astros el Sol realice un movimiento aparente en sentido *contrario* a ellos.

su centro y, luego, su velocidad a lo largo de ella constante. También consideremos al eje terrestre perpendicular al plano de rotación. Si un observador situado directamente debajo del Sol, esperase (muy) pacientemente una rotación completa, no volvería a aparecer directamente debajo del Sol. De hecho, a la Tierra le faltaría rotar un “poquito” para que el Sol quedase sobre la cabeza del observador (figura 7).

Si volvemos al caso de la órbita elíptica, hay un detalle por corregir. En el caso del círculo a la Tierra le faltaría rotar siempre el mismo “poquito” mientras que en la órbita elíptica el “poquito” va variando en función de la velocidad de traslación que, a su vez, no es constante pues estamos en una órbita elíptica. Aquí queda en evidencia la razón fundamental por la cual los relojes de Sol difieren de la hora que leemos en nuestros relojes de pulsera. Este defasaje se va acumulando a lo largo del año, alcanzando 8 minutos de diferencia.

En lo que respecta a la forma del analema, la suma de los dos efectos dan lugar a la **Ecuación del Tiempo**, que se define como la diferencia entre la hora oficial y la hora Solar aparente. Esta diferencia da la amplitud o ancho del analema, en particular, la excentricidad de la órbita causa que los lóbulos no

sean iguales. El analema es una representación gráfica que nos proporciona en forma conjunta información acerca de los movimientos propios del Sol, sobre la Ecuación del Tiempo y, claramente, de la dificultad que presenta al ser elegido como patrón de medición de tiempo.

En resumidas cuentas, la forma del analema es consecuencia de dos importantes factores: la traslación de la Tierra (órbita elíptica) y la inclinación del eje de rotación respecto del plano de la órbita.

## ¿Cómo se hace un analema?

En principio, para estudiar en detalle las causas de la forma del analema, no siempre se cuenta con la posibilidad de fotografiar al Sol, así que deberemos buscar un método de estudio más accesible.

El problema que presenta el Sol a la hora de estudiarlo y observarlo minuciosamente es su extrema luminosidad, capaz de dañar seriamente de forma irreversible la retina del observador al verlo directamente. Por ello, para no lastimar nuestra vista, optamos por un estudio indirecto. Nos fijamos en la posición y variación de la sombra producida al interponer un objeto en la trayectoria de los rayos de Sol. La manera más simple y práctica de observar los movimientos solares es situando un palito vertical e ir viendo las sombras producidas. Dicha varilla se denomina *gnomón*. Esta palabra deriva del griego *γνῶμων*, “bastón”, y simplemente consiste en un palo rígido clavado o sujeto firmemente al suelo. El gnomón es tal vez el instrumento astronómico más antiguo. Su uso fue común en la astronomía egipcia, y no eran otra cosa los obeliscos que se erigían en todas las ciudades importantes y en los centros religiosos. El objetivo era rendir culto al dios Ra. Pero en realidad se usaban para medir la altura del Sol, con lo que los sacerdotes-astrónomos egipcios podían saber la fecha dentro del año. A consecuencia del movimiento diurno, la sombra de la varilla se desplaza en el plano horizontal y cruza la línea Norte-Sur cuando el Sol culmina superiormente, eso ocurre al mediodía (cuando culmina inferiormente se dice que es medianoche). Si

diariamente registrásemos, a lo largo de un año, la posición de la sombra que proyecta la varilla a una hora determinada, vemos que se forma en el suelo la misma figura que fotografiando día a día al Sol: el analema (figura 8).



Figura 8: **Analema** La foto muestra el analema realizado en la terraza observatorio “Héctor Ottonello”.

## El analema en el Colegio

Desde el año 2003 los alumnos del observatorio “Héctor Ottonello” del Colegio Nacional de Buenos Aires, con la colaboración de los profesores, realizamos el estudio del analema utilizando un gnomón contruido por nosotros mismos.

El estudio del analema es una actividad pedagógicamente muy nutritiva ya que fomenta el trabajo grupal, genera responsabilidad en los participantes y, por sobre todo, acerca a los alumnos a conceptos nuevos de una forma puramente interactiva y dinámica. Por otra parte, tiene la ventaja de carecer de restricciones importantes ya sea del lugar físico o los materiales. Eso sí, ¡tiene que ser de día! Así, el estudio del analema se convierte en una actividad ideal para despertar y estimular el interés científico de alumnos de cualquier edad. De hecho, comenzamos a realizar el analema motivados por una entrevista hecha a un maestro de jardín de infantes que les enseñaba a sus alumnos conceptos elementales de astronomía articulados en un ámbito lúdico (ver *Objetivos*). Por otra parte, el marco teórico básico astronómico que acompaña al tema es

accesible para aquel que tenga las ganas de aprender.

En lo que respecta a los materiales, el gnomón que construimos, básicamente, se constituye de un caño largo (medida) que atraviesa una base hecha en madera (aglomerada) que le otorgue rigidez. En la punta del caño se agregó la tapa de un balde de pintura, con un orificio en su centro, que hace el papel de obstáculo para los rayos solares (figura 9). La elección de este tipo de gnomón vino dada por el lugar en el que hacemos el analema (la terraza de Observatorio). Al ser un lugar pequeño, hubo que considerar el largo justo del caño utilizado para optimizar la resolución del analema (espacio que ocupa la figura en el suelo) en función de la altura máxima y mínima que puede alcanzar el Sol a esta latitud.<sup>5</sup> Lo ideal es utilizar como gnomón algún tipo de obstáculo que esté fijo a una pared y haga una sombra nítida. En nuestro caso no pudo ser posible ya que nuestro gnomón no podría soportar la intemperie.



Figura 9: **Gnomón.** El gnomón construido por los alumnos consta de una base firme hecha en madera barnizada, un caño largo bien sujeto a la base y una tapa de un balde de pintura en el extremo superior del caño.

<sup>5</sup>Este intervalo viene dado por  $\langle \varphi - 23,5, \varphi + 23,5^\circ \rangle$ , donde  $\varphi$  es la latitud del lugar.

## Metodología de trabajo

Por mera convención, todos los días a las 12:35 (hora local) alguno de los alumnos se acerca al Observatorio para realizar la medición del día a las 12:40. Antes de comentar cómo se hacen las mediciones aclaremos el por qué de la arbitrariedad. La hora fue elegida ya que es el horario de salida del turno mañana e ingreso del turno tarde, lo cual facilita que los alumnos de tales turnos puedan realizar las mediciones y, así, asegurar un *continuo* de mediciones. La hora de la medición tiene que ser muy exacta, porque el Sol se mueve muy rápido. Para lograr esa exactitud nosotros recurrimos a la hora oficial suministrada por el servicio telefónico (113). El caso ideal sería constatar la hora con la enviada por el Observatorio Naval mediante un receptor de onda corta. No obstante, la hora provista por un reloj de cuarzo satisface la exactitud buscada.

La frecuencia para tomar las mediciones dependerá de la separación deseada entre las marcas, dos mediciones por semana es un número razonable, pero es un factor que puede regularse a gusto. De todas formas, si el analema llegase a quedar incompleto, puede completarse al año siguiente ya que las posiciones se repiten anualmente (siempre que respetemos la hora de las mediciones).

El encargado de efectuar la medición coloca el gnomón en una posición que será **exactamente** la misma para el resto de las mediciones. Para ello, es recomendable determinar en el suelo marcas que denoten la ubicación deseada de la base del gnomón. De todas formas, lo óptimo es disponer de un gnomón fijo para disminuir errores de medición. Una vez que el gnomón esté correctamente ubicado, a la hora establecida (12:40) el alumno marca con pintura la posición del redondel de luz determinado por el orificio del gnomón. Una forma precisa de hacer la marca, es colocar una hoja de papel con un agujero de tamaño similar al del gnomón y, luego de colocarla sobre el círculo de luz, pintar sobre ella. Esto permitirá obtener bordes definidos en cada medición, que no se solapen con otras adyacentes. Después de hacer la marca, se data la medición colocando

la fecha al lado de la marca.

Una consideración importante es la elección del material para hacer la marca. Escogimos esmalte sintético para exteriores teniendo en cuenta la porosidad de la superficie en la que hacíamos las mediciones. Otras opciones factibles son fibrones o aerosoles, dependiendo de la superficie con la que se dispone.

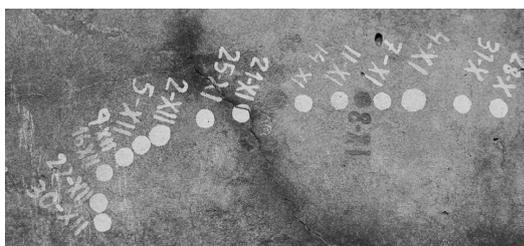


Figura 10: **Analema**. En la figura vemos las sucesivas marcas realizadas con pintura (amarilla) correspondientes al período comprendido entre 28/10 y 30/12.

## Algunos objetivos

Los objetivos que esperamos son que los chicos “vean” el movimiento propio del Sol a lo largo del año, que puedan llevar a cabo un trabajo de tipo “práctico”, de duración indeterminada, y en conjunto. Lo ideal sería que se lo fueran pasando de generación en generación, promoviendo una cierta “responsabilidad” ya que el Sol no espera; un día sin medición es un analema incompleto. En rasgos generales, la idea es lograr la comprensión cualitativa del movimiento propio del Sol y poder deslizar la noción de medición de tiempo respecto del Sol y otras estrellas.

Pedagógicamente, intentamos estimular el trabajo de equipo e introducir a los chicos de nivel secundario en el método científico sembrando el compromiso hacia el grupo mismo. El analema produce un sentimiento de permanencia al ser realizado sobre la superficie de alguna edificación. Resulta análogo a los grafitis hechos en las paredes de espacios públicos. ¿Por qué no se hacen sólo sobre papel? El mero hecho de plasmar un dibujo en el suelo de una escuela o un patio implica una sensación de perdurabilidad.

A su vez, hacer el analema en el patio de una escuela o en algún lugar concurrido, facilita

la divulgación de esta actividad. Cualquier persona que pase cerca se verá intrigada por averiguar por qué hay gente pintando el suelo y en particular por qué pintan un ocho.

Un punto que amerita ser comentado es el grado de dificultad de la actividad. Como ya se comentó en el resumen, el analema es uno de los pocos trabajos astronómicos de índole práctica en los que se puede regular el grado de dificultad deseado. Originalmente, el analema lo realizaba un grupo de chicos entre 2 y 11 años junto con su maestro en un *childcare* en Minnesota. Gracias a un artículo de la revista *Sky & Telescope* (Marzo 2003) nos interesamos en este trabajo y contruimos nuestro gnomón. Ahora, el objetivo del maestro hacia sus chicos era que comprendieran algunos conceptos fundamentales como:

- El sol se mueve por el cielo.
- Al mediodía se encuentra en el punto más alto.
- Está más alto en verano que en invierno.

En nuestro caso, el trabajo realizado es exactamente el mismo, con la diferencia de que trabajamos con alumnos de 13 a 18 años. Por ello, los mismos conceptos fundamentales se cargan con un poco de teoría sobre los movimientos de la Tierra y formalismos como Ecuador Celeste, Eclíptica, Solsticio, etc. Lo rescatable de esta idea es que el analema puede acomodarse a distintas circunstancias educativas.

Por último, vale decir que estudiar el movimiento del Sol a través del cielo es una actividad sencilla y gratificante de la que se pueden aprender infinidad de cosas, ideal para discutir y asimilar los temas referidos a los diversos movimientos de los astros. Esperamos no ser los últimos en hacer el analema y que este artículo sirva de inspiración para muchos otros. **SP**

## Referencias bibliográficas

- [1] Martín Asín, Fernando, *Astronomía general*, 3.<sup>a</sup> edición, Parainfo S.A., Madrid, 1990.

[2] Kaupper, Michael, *Astronomy with Children: Our Backyard Analemma Project*, Sky & Telescope, Vol. 105, Marzo de 2003.

[3] [www.analemma.com](http://www.analemma.com)

[4] <http://astro.isi.edu/games/analemma.html>

[5] <http://www.bernisol.com> - Foro de gnomónica

## Noticias del autor

**Pablo Vena**

[pvena@cnba.uba.ar](mailto:pvena@cnba.uba.ar)

Docente del Observatorio “Héctor Ottonello”.



# LAS DIMENSIONES DE LA PRISIÓN

LUIS G. LÓPEZ

OBSERVATORIO “HÉCTOR OTTONELLO”, COLEGIO NACIONAL DE BUENOS AIRES  
UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

---

## Resumen

En mi experiencia docente compruebo que los alumnos presentan dificultades inusuales para concebir y resolver problemas que impliquen el espacio tridimensional. Este problema se magnifica al ser la astronomía una ciencia cuyos objetos de estudio se nos presentan de tal modo que la manera más conveniente de ubicarlos es en una esfera imaginaria en cuyo centro estamos. La dificultad aludida no deja de ser paradójica: los alumnos viven cotidianamente y con soltura la tridimensionalidad, pero al ingresar al ámbito del conocimiento formal —la escuela— parecen perder competencia en todo espacio que no sea bidimensional o unidimensional. Una serie de reflexiones sobre el tema se siguen de algunas sugerencias de estrategias didácticas para diagnosticar e intentar solucionar este fenómeno.

**Palabras Clave:** bi- vs. tri-dimensionalidad — estrategias didácticas

---

Una de las críticas más fuertes que recibe la escuela es que separa a los alumnos de la realidad. Muchas veces no advertimos hasta qué punto esto es cierto, e incluso si siempre es tan perverso como suena y —en ese caso— cómo evitarlo.

No es posible aprender sin pensar, y pensar supone una serie de momentos —sincrónicos y diacrónicos— de los cuales la abstracción no es el menos importante: toda distinción clara entre conceptos implica una separación de los caracteres individuales que los diferencian entre sí. Los diccionarios ilustran este proceder: definir algo es indicar lo que lo diferencia del resto del universo. En otras palabras, definir es señalar límites e —incluso— crearlos; en palabras de Umberto Eco: “... *una cultura dada organiza el mundo de acuerdo con prácticas dadas, o propósitos prácticos, y consecuentemente considera como pertinentes diferentes aspectos del mundo.*” [1]. O en las de Antonio Marina, prácticamente coincidentes: “*Cada cultura ha segmentado la realidad de manera diferente. Para decirlo de manera más técnica, ha inventado distintos esquemas de asimilación, a los que ha dado nombre. El léxico de una lengua es el inventario de los significados importantes para un grupo social.*” [2]

Si la escuela es el lugar en donde aprendemos y, por lo tanto, pensamos, resulta forzoso

crear abstracciones: límites y diferencias que no necesariamente son absolutas. Este riesgo no debe asustarnos: es una conquista del intelecto, una suerte de creación colectiva que nos recuerda el arte en colaboración. Pero sí debemos estar atentos a la posibilidad de que esas abstracciones terminen generando un mundo agradable y sencillo que desplace y se oponga a cualquier otro —que incluso puede ser más complejo y plausible, aunque menos cómodo.

\* \* \*

Una de estas abstracciones es la del espacio. Kant, y luego Schopenhauer, sentían que era una de las condiciones de posibilidad de la percepción y, por lo tanto, del conocimiento. Sin pretender agotar esta idea, permítanme sugerir apenas que, según ellos, el espacio no posee una entidad propia en sí mismo, sino que es más bien una característica o condición de nuestro entendimiento según la cual percibimos los objetos “aquí” y “allá” [3, 4]. Spencer razonaba incluso que no es una condición imprescindible: nos desafía a señalar el costado derecho de un sonido, o la parte superior de un aroma [5].

Borges simulaba no creer en el espacio —o apenas se resignaba a aceptarlo. Nos sugería el siguiente experimento mental: imaginemos una raza cuyos solos sentidos sean el oído y el

olfato. En ausencia de la vista, el tacto y el gusto: ¿Qué es el espacio? Una raza así, sin embargo, seguiría urdiendo su historia, apasionadamente: una historia llena de tiempo, sonidos, aromas, emociones y pensamientos[6].

No es necesario que prosigamos este camino. Si bien es posible aventurarse con el pensamiento en regiones tan sutiles, convengamos en que el espacio nos resulta innegablemente real. Aún siendo una abstracción, es “real”, al menos como creación, o necesidad de nuestro entendimiento y sentidos.

Tan real es, que resulta impensable la física sin la idea de espacio, al extremo de que los físicos requieren muchos: euclídeos, no euclídeos, y de variado número de dimensiones.<sup>1</sup>

En general, los espacios son muy útiles en física para ubicar y medir. Por lo que la tarea de realizar esos espacios le corresponde —naturalmente— a la matemática.

\* \* \*

Una manera de caracterizar espacios es por el número de sus dimensiones. Una recta decimos que posee una dimensión. Esto se debe a que —para decirlo brevemente— para ubicar cualquier punto de la misma sólo es necesario emplear un número (usualmente llamado “coordenada”), que puede ser la distancia que lo separa de otro punto tomado convencionalmente como origen. En otras palabras, en una recta sólo podemos distinguir puntos a lo largo de una dirección —que es, naturalmente, la que coincide con la de la recta.

Del mismo modo, decimos de un plano que posee dos dimensiones, ya que no podemos determinar inequívocamente la posición de un punto con una sola coordenada, sino que precisamos dos. En términos coloquiales, un

<sup>1</sup>Con respecto a la entidad del espacio en física, resulta interesante seguir la evolución de dicho concepto a lo largo de la historia de esta ciencia. Nos detendremos en dos momentos, apenas: para Newton, el espacio era “absoluto”; una suerte de rígido y penetrable escenario indiferente a todo lo que en él ocurre. Para Einstein, adquiere un grado de “realidad” más fuerte: no sólo es el marco en el que ocurren los fenómenos, sino que se ve *modificado* por los mismos. Como vemos, hoy por hoy el espacio es más “real” que nunca, casi tangible.

plano no sólo posee “largo”, sino “ancho”.

El próximo paso natural es añadir una dimensión al plano, obteniendo así el espacio tridimensional habitual. Es posible seguir agregando dimensiones, resultando de esta manera espacios imposibles de concebir, pero para los cuales la matemática cuenta con una sólida capacidad de descripción y manipulación. Para la matemática, un cubo de cuatro dimensiones no es más alarmante que uno de tres, o de veinte.

Pero volvamos sobre nuestros pasos. En general, reconocemos que nos cuesta concebir espacios de más de tres dimensiones, pero ¿entendemos realmente los primeros dos? ¿Estamos seguros de que podemos intuir con plenitud una recta o un plano? Debo confesar que yo, no.

\* \* \*

Debemos hacernos cargo de este hecho: un plano no es una lámina “finita” o “muy chatita”. Un plano *no tiene* espesor. No podemos decir que el espesor de un plano es despreciable, o incluso cero: sencillamente, no existe tal cosa como “espesor” en su dominio. Otro tanto debemos decir de la recta: sólo tiene “largo”. Quien pueda intuir estas abstracciones, ciertamente habrá alcanzado un estado mental lejos de mis más audaces posibilidades.<sup>2</sup>

\* \* \*

La condición natural de nuestras percepciones y entendimiento es la tridimensionalidad. La concepción cabal de otro tipo de espacios, aún siendo posible, supone un esfuerzo especial de nuestra parte. Esta sencilla idea debería hacernos concluir que cualquier sistema físico —e incluso meramente geométrico— tridimensional resulta más fácil de entender que cualquier otro en —por ejemplo— dos dimensiones. Pero por alguna razón, esto en la escuela no es así.

<sup>2</sup>Hago notar que, deliberadamente, excluyo de este somero análisis al *punto*, que no posee *ninguna* dimensión. Tratemos de considerar al punto no como una especie de esferita “indefinidamente chiquitita”, sino *carente de todo tamaño*. La idea misma de “tamaño” es extraña a la de punto... Confieso humildemente que no puedo evitar sentir vértigo ante un punto.

Una de las partes de la astronomía trata el problema de ubicar los objetos celestes con respecto a nosotros. Manifestándosenos el cielo como una suerte de bóveda en el centro de la cual estamos, resulta natural modelizarlo como una esfera. La misma no debería presentar mayores obstáculos para la comprensión; después de todo, es una figura tridimensional.

Sin embargo, en mi experiencia docente compruebo que me resulta más sencillo transitar con mis alumnos los más abstrusos problemas astrofísicos que conseguir que puedan orientarse en el cielo nocturno. Son perfectamente capaces de asimilar en tiempos razonables problemas circunscriptos en las dos primeras y abstractas dimensiones, pero pasar a las cotidianas tres representa un salto brusco, que requiere de toda su atención y de variadas estrategias didácticas.

\* \* \*

Esta paradoja presenta un difícil diagnóstico. Es innegable que, en su vida cotidiana, los chicos se manejan con idoneidad con la tridimensionalidad, pero pareciera que al entrar en la escuela redujeran en una dimensión su capacidad de percibir con claridad el espacio, y las relaciones de ubicación y distancia —tanto lineal como angular— que en él se manifiestan. Es sumamente extraño que un pescador griego del siglo IV a.C., cuya ignorancia de los elementos de Euclides seguramente era perfecta, se condujera con soltura entre las estrellas de la noche del mar Egeo pero que un alumno de nuestras escuelas, que trafica con puntos y triángulos sin equivocarse, se detenga con perplejidad ante la posibilidad de trazar ángulos entre dos astros.

Entiendo que una posible explicación de este problema debe tener en cuenta el hecho de que los elementos en los que se concretan dinámicamente los pensamientos, en la escuela, sean ambos bidimensionales: el pizarrón y el cuaderno. También los libros —en los cuales el pensamiento se congela en letras de molde, sin posibilidad de intervención de borradores o gomas— reprimen una dimensión.

La anterior explicación, lógicamente, es incompleta. Pizarrón, cuaderno y libros son nece-

sariamente bidimensionales,<sup>3</sup> pero como herramientas no tienen por qué sujetar al pensamiento en el plano. Podrían ser meros transmisores o plataformas de los conceptos y sus relaciones, sobre los cuales materializáramos bosquejos o apuntes de los mismos, como auxilio de la memoria; un poco a la manera de la perspectiva, que nos permite en dos dimensiones representar un objeto tridimensional. Pero nuevamente, el problema parece ser que por alguna razón terminamos confundiendo la perspectiva de un cubo con el cubo mismo o —lo que es aún peor— nos olvidamos del cubo y sólo somos capaces de traficar con su representación como única realidad. Si nos permitimos un poco de jerga semiológica, podríamos decir que el símbolo desplaza lo simbolizado, constituyéndose en objeto de significación *per se*.

\* \* \*

Parte del problema tal vez radique, entonces, en que en la escuela nos creamos una sociedad en la cual la abstracción del mundo como un plano, generada y perpetuada por pizarrón, cuaderno y libro, adquiere un grado de realidad muy fuerte. Reconozcamos también que es una realidad que “funciona”: muchos problemas físicos tridimensionales (quizá debiéramos decir *reales*) pueden descomponerse en problemas no sólo bidimensionales, sino incluso unidimensionales que —una vez resueltos por separado— pueden luego ser compuestos para obtener la solución al problema original. Pero el inconveniente es que, por lo general, olvidamos llevar a cabo este último proceso. Como suele decirse en los libros de texto, “es un ejercicio que se deja al lector”.

Pero ese ejercicio no es trivial. Componer las partes elementales del problema inicial no es superficial: es realmente solucionar el problema. Y lo que es aún peor, no realizarlo es una de las maneras de abonar a la paradoja que planteo en este trabajo.

\* \* \*

<sup>3</sup>Resulta interesante conjeturar un futuro de pizarrones, cuadernos y libros holográficos; pero sus efectos en la educación escapan, por el momento, a toda comprobación empírica.

¿Hay en un alumno dos maneras intercambiables de pensar y percibir el mundo? ¿Es posible que al ingresar a la escuela adecuemos nuestra mente a una abstracción del espacio distinta a la que empleamos cuando salimos de ella? ¿Tanto alejamos a nuestros alumnos de la realidad?

Absurdo como suena, mi experiencia sin embargo me lo confirma. Los alumnos parecen perder el dominio de una dimensión al entrar a la escuela. ¿Ganan algo a cambio? Creo que sí. Libros, pizarrón y cuaderno son riquezas generadoras de riquezas. Nuestra cultura es testigo de esto.

Pero, ¿debemos resignarnos sin más a esa pérdida? ¿Es imprescindible despojarse de la intuición de la tridimensionalidad para entrar al mundo del conocimiento formal? Creo que no.

\* \* \*

El primer paso consiste en advertir el problema. Entre las distintas posibilidades de conseguirlo, ofrezco como ejemplo concreto una que siempre realizo en mis cursos, a los que asisten alumnos de 4.º año en adelante: proponerles el ejercicio de recordar las dos leyes de la reflexión de la luz. Una de ellas surge espontáneamente: el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.

Pero la segunda siempre parece diluirse en el olvido: los rayos incidente y reflejado, junto con la normal en el punto de incidencia, son coplanares. Este olvido testimonia la paradoja: esta ley no es en sí más complicada que la otra, pero requiere que pensemos en la mera *posibilidad* de que las tres rectas *no* formen parte del mismo plano, y esa posibilidad parece ajena a las mentes de los alumnos. Por esto, pensar en ella resulta casi un ejercicio de pensamiento lateral. Y muy útil, por cierto: es conveniente invertir algunos minutos de la clase en dialogar con ellos acerca de la dificultad que presentó imaginarse el fenómeno físico de la reflexión en otro espacio que no sea plano—considerar la mera posibilidad de que un rayo “salga” del pizarrón.

En lo que respecta específicamente a la astronomía, hay que tener un delicado cuidado con

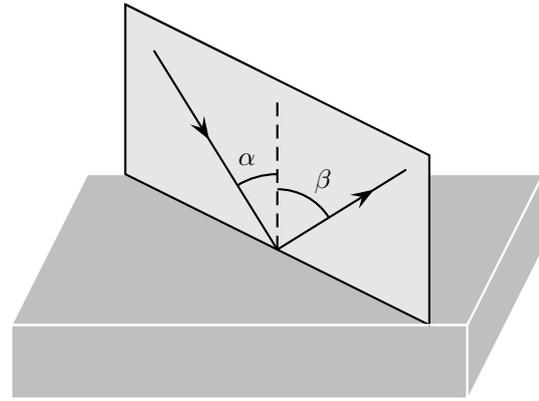


Figura 1: **Reflexión de la luz.**  $\alpha$  es el ángulo de incidencia y  $\beta$  el de reflexión. Ambos son iguales. Además, el rayo incidente, el reflejado y la normal a la superficie reflectora en el punto de incidencia (indicada en línea de trazos) son coplanares.

toda proyección de la esfera celeste<sup>4</sup> que resulte de su mera intersección con un plano; cuando la usemos, debemos valernos siempre del espacio “delante” y “detrás” del pizarrón, con gestos claros e incluso ampulosos, sin miedo a salir de su superficie. Por supuesto, siempre es mejor esforzarnos por emplear de la manera más creativa y clara la perspectiva. Pero el auxiliar más útil es el *globo celeste*, primo del globo terráqueo. Existen muy vistosas alternativas comerciales del mismo,<sup>5</sup> pero ninguna es tan dúctil didácticamente como una de fácil armado, hecha con una pelota de telgopor pintada de negro, sobre la cual distintos astros pueden ser representados dinámicamente por otras tantas tachuelas o chinchas. Una varilla de madera hará las veces de eje.<sup>6</sup>

También es útil aprovechar las facilidades brindadas por los Planetarios. El de Buenos Aires accede siempre gentilmente, cuando lo solicitamos, a mostrar en su pizarrón semi-esférico los elementos de los sistemas celestes

<sup>4</sup>La esfera celeste es el modelo del cielo como una esfera de radio arbitrariamente grande, cuyo centro es el observador, y en la que ubicamos a todos los astros.

<sup>5</sup>Algunas incluso exhiben en su superficie curiosas representaciones de las constelaciones al encenderse una lámpara en su interior.

<sup>6</sup>En nuestro Observatorio contamos con tres globos celestes comerciales. Si bien son útiles, ninguno es tan usado como un cuarto, hecho por nosotros como el comentado en estas líneas.

de coordenadas.

Y por supuesto, jamás eludir la confrontación con la observación directa. No existe mejor representación del cielo que el cielo mismo. Una terraza o patio hará las veces de aula. La tiza en ese pizarrón, por cierto, es apenas un problema menor.<sup>7</sup>

\* \* \*

Sólo he expuesto unas cuantas estrategias, a modo de ejemplo. Por supuesto, el ejercicio de la docencia nos va sugiriendo, “en tiempo real”, muchas otras, que cada docente a su vez aplicará a la materia que dicta.

He dicho que resulta imprescindible, al resolver problemas de física de tres dimensiones, componer las distintas soluciones que resultan de su descomposición. Tal vez haya exagerado. Una vez que se demuestra la equivalencia de los múltiples problemas elementales con el problema compuesto, la resolución de aquellos nos asegura la de éste. Sin embargo, en la escuela el problema no es sólo de rigor científico, sino de eficacia pedagógica: de nada sirve arribar al resultado correcto si no logramos que los alumnos abarquen el mismo —al menos con la imaginación— en su propia complejidad. Por otra parte, en astronomía nos encontramos ante la imposibilidad de descomponer los problemas propios de la astronomía de posición. Esta imposibilidad es un alegre desafío: el de enfrentarnos sin rodeos con la realidad.

Una última reflexión: me quejé de la bidimensionalidad del pizarrón, el cuaderno y el libro, y de la posibilidad de que su uso influya en la pérdida de una dimensión en la intuición de los alumnos. Sin embargo, podríamos horrorizarnos aun más ante la consideración de que el medio más empleado en la docencia es unidimensional: la voz hablada. Esta uni-

dimensionalidad, por supuesto, es ficticia: la voz del maestro no debe existir nunca sola, ya que no solo debe completarse con su expresividad gestual y corporal, sino entrecruzarse con las múltiples voces de sus alumnos, generando así un espacio y un tiempo de dimensiones innumerables. SP

## Referencias bibliográficas

- [1] Eco, Umberto, *How Culture Conditions the Colors We See*, en *On Signs*, editado por Blonsky, Marshall, Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD, 1985.
- [2] Marina, Antonio, *Teoría de la inteligencia creadora*, Anagrama, Barcelona, 1995.
- [3] Lamanna, E. Paolo, *Historia de la filosofía: Vol. 3; De Descartes a Kant*, Hachette, Buenos Aires, 1957.
- [4] Lamanna, E. Paolo, *Historia de la filosofía: Vol. 4; La filosofía del siglo XIX*, Hachette, Buenos Aires, 1957.
- [5] Spencer, Herbert, *Principios de psicología*, La España Moderna, Madrid, [sf].
- [6] Borges, Jorge Luis, *La penúltima versión de la realidad*, en *Discusión*, en *Obras completas*, Emecé, Buenos Aires, 2002.

## Noticias del autor

**Luis G. López**

llopez@cnba.uba.ar

Jefe de ayudantes del Observatorio. Docente del Curso General de astronomía, cursos especiales y charlas.

<sup>7</sup>Un problema interesante, pero que escapa al objetivo de este trabajo, es la reacción de los alumnos al proseguir la clase en un ámbito formal, como es

el de la terraza o el patio. En general, los alumnos tienden a distraer su atención, tal vez vinculando el ámbito con su función formal: el recreo.



# LA PÉRDIDA DEL ASOMBRO

LUIS G. LÓPEZ

OBSERVATORIO “HÉCTOR OTTONELLO”, COLEGIO NACIONAL DE BUENOS AIRES  
UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES

---

## Resumen

En el presente trabajo objeto, en particular, la creencia de que la física moderna goza de menor difusión y popularidad en la sociedad que la física clásica y, en general, la tendencia —íntimamente vinculada con la primera objeción— a difundir los resultados y afirmaciones finales de las ciencias, obviando el estudio y análisis de los supuestos y bases sobre los que se fundan. Se ofrecen distintas razones por las que se debería revertir esa tendencia, que implican una distinta actitud y acción pedagógica ante la ciencia.

**Palabras Clave:** Preconceptos — significación — denotación–connotación — física moderna–física clásica

---

El tema disparador propuesto este año para las monografías que se presentaran a la “*Beca Instituto Balseiro 2005 para alumnos de escuelas de enseñanza media*”<sup>1</sup> es el siguiente:

*Durante el 2005 se celebra el año internacional de la física en conmemoración del “milagroso” año 1905 en el que Einstein contribuyó con teorías fundamentales a lo que luego serían la relatividad especial y la mecánica cuántica, ideas que desde entonces revolucionaron la ciencia.*

*La visión que el hombre común tiene del mundo, y la enseñanza que se imparte en los colegios: ¿han incorporado estas ideas? ¿Es esto relevante para la sociedad? ¿Cómo se enseña la física en el secundario? ¿Cómo han impactado estas teorías en la realidad cotidiana en que vivimos? (a través de avances tecnológicos, nuevas corrientes de pensamiento, etc.).*

Debo confesar que la propuesta generó en mí una serie de respuestas reflejas, que podrían resumirse de la siguiente manera:

a) El hombre común *no* incorporó las ideas de la física moderna.

b) La física se enseña en el secundario de manera *clásica*; esto es, a la manera en que la Naturaleza era interpretada anteriormente al siglo XX.

Una anécdota reciente suscitó en mí una serie de reflexiones y recuerdos que sirvieron para cuestionar estas impresiones simplistas.

\* \* \*

Un división de primer año visitó el Observatorio a mediados de 2005 en el marco de las tutorías que brinda el Colegio. Luego de la presentación de rigor, comentando las actividades del Observatorio, siguieron las preguntas de los chicos.

Uno de ellos, interesado por la secuencia fotográfica tomada por nosotros de un eclipse total de Luna que decora las puertas de una de las bibliotecas, motivó una somera explicación formal de las alternativas de dicho fenómeno astronómico.

Una de las curiosidades a explicar del mismo es la coloración rojiza que generalmente adquiere la Luna durante la totalidad, momento en el cual uno podría pensar que no debería recibir luz alguna debido a la interposición de la Tierra entre ella y el Sol. Procedí, pues, a dibujar alineados en el pizarrón a estos tres cuerpos, y ya me disponía a iniciar mi explicación tras dibujar un rayo de luz que se desvía “curvándose” al ingresar en nuestra atmósfera cuando un alumno, saludablemente inquieto,

---

<sup>1</sup><http://www.ib.edu.ar/bib2005/>

levantó la mano y propuso: “Ah... eso ocurre porque la Tierra curva el espacio a su alrededor, ¿no?”.

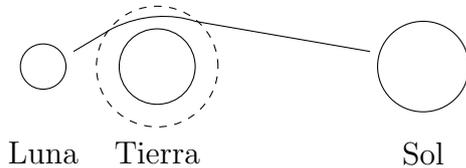


Figura 1: **Refracción de la luz en nuestra atmósfera durante un eclipse total lunar** (el esquema está notoriamente fuera de escala). Si bien la Tierra efectivamente curva el espacio a su alrededor — efecto predicho por la teoría de la relatividad general —, dicha curvatura es absolutamente despreciable comparada con el desvío producido por la refracción luminosa en nuestra atmósfera, que explica la llegada de luz a la superficie lunar aún cuando nuestro planeta se encuentre entre la Luna y el Sol.

\* \* \*

No cuento con la posibilidad práctica de llevar a cabo el pertinente estudio de campo; tampoco me atrevo —por supuesto— a elevar sin más el caso particular de esta anécdota a ley general. Sin embargo, sigue siendo significativo que —al menos en el caso de este alumno—, resulte más familiar el resultado de la relatividad general según el cual la masa curva el espacio-tiempo, que el fenómeno de la refracción de la luz al propagarse a través de distintos medios. Y entiendo que es significativo por varias razones:

- a) La curvatura del espacio-tiempo no es un fenómeno de percepción “cotidiana”, mientras que vivimos literalmente rodeados de fenómenos vinculados con la refracción de la luz.
- b) Imaginar —o al menos comprender, en el sentido de ser capaces de manipular conceptual y matemáticamente— la curvatura del espacio-tiempo es inconmensurablemente más difícil que abarcar con la intuición las dos leyes de la refracción.

- c) El lugar de la enseñanza formal —la escuela— no incluye por lo general en sus programas la relatividad, pero sí la refracción.

Como dijera, esta anécdota podría no pasar de ser un curioso caso aislado; sin embargo, generó en mí una serie de recuerdos de índole análoga que, a su vez, encontraron eco en mis compañeros docentes al ser compartidos verbalmente con ellos. En varias oportunidades encontramos a nuestros alumnos con un conocimiento previo de determinados hechos o fenómenos astronómicos complejos e, incluso, altamente hipotéticos (agujeros negros, energía oscura, etc.), mientras que otros cuya naturaleza los hace más accesibles a la percepción directa, son prácticamente desconocidos o “mal-conocidos” por ellos (las fases lunares, el movimiento aparente del Sol con respecto a las estrellas, etc.).

En un largo periplo de consideraciones y recuerdos, caí finalmente en mí: siendo un aficionado a las matemáticas, confieso que tengo una cierta competencia para hablar de algunos resultados de Kurt Gödel o de Alan Turing, pero no recuerdo la diferencia entre la estructura de anillo y la de cuerpo. Creo que no me aventuro demasiado si afirmo que, la mayoría de nosotros, cuenta con ciertos conocimientos más o menos vagos de varias cuestiones finales de las ciencias —no sólo exactas y naturales, sino humanísticas— pero carece de otras tantas nociones más elementales de las mismas aunque, por lo mismo, supuestamente sean más sencillas.

\* \* \*

Corro el albur de haber sugerido una falsa paradoja. Conocer las conclusiones finales de las ciencias ignorando sus bases no es absurdo; es parte de nuestra naturaleza. Somos naturalmente curiosos de lo espectacular y llamativo, y esas características rara vez se encuentran en los axiomas y declaraciones iniciales de las ciencias. Por otra parte, se supone que la ciencia busca precisamente esas formulaciones finales, para provecho y conocimiento de la humanidad, siendo sus bases algo así como “la cocina

de la ciencia”; una suerte de andamiaje que, detrás de escena, otorga solidez al conjunto pero cuya exhibición en sí no reviste mayor relevancia.

\* \* \*

Sin embargo, esta interpretación, tal vez un tanto ingenua, supone una serie de problemas a los que debemos prestar suma atención, sobre todo en la escuela.

En primer lugar, toda afirmación con la que se pretenda divulgar una noción científica se reduce a una forma verbal. Esto es, sus elementos formales son palabras, y con las mismas aparecen los problemas de la significación. Por empezar, y como todo manual de semiología declara, las palabras no sólo *denotan* conceptos, sino que *connotan* otros, de número indefinido y creciente: es decir, las palabras no sólo “señalan” conceptos (de eso se trata la *denotación*), sino que inevitablemente sugieren relaciones, proponen ecos, y traen a colación otros significados a la imaginación. Por ejemplo, cuando un musicólogo propone una dicotomía de la música universal dividiéndola en “académica” y “popular”, nuestra primera reacción tal vez sea que se trata de una categorización muy ingenua, pero no es sólo eso lo que ocurre. Implícitamente, quedan sugeridas muchas diferencias que no necesariamente forman parte de la propuesta original del estudioso, pero que despiertan en nosotros una serie indefinida de ecos, simpatías y antipatías: lo “académico” puede sugerirnos inconcientemente algo frío, tradicional, rígido, elaborado, formal, elitista, racional, elevado, difícil, intelectual, etc.; lo “popular” lo relacionaremos posiblemente con lo intuitivo, fácil, llano, irracional, colectivo, informal, improvisado, desestructurado, actual, emocional, etc.

Pero aún cuando pudiéramos desprender a las palabras de sus connotaciones, la denotación misma presenta problemas. Los científicos de todas las áreas suelen traficar con términos cuya significación se aleja de la cotidiana, para transformarse en *técnica*. Esto no siempre es resultado de la pedantería: muchas veces proviene de la necesidad de manejarse económicamente con el lenguaje, y a veces

también porque es necesario referirse de alguna forma a características del universo que, sencillamente, no tienen correlato alguno con el mundo cotidiano. Por ejemplo, las partículas subatómicas presentan características del todo ajenas a nuestra experiencia: a una de ellas los físicos se refieren como *sabor*, y es una carga: las partículas tienen *carga de sabor*. Y aquí despunta el problema: quien no esté al tanto del sentido técnico del término y su peculiar significado, puede sentirse comprensiblemente perplejo al considerar que las partículas subatómicas “tienen gusto a algo”.<sup>2</sup> Los ejemplos son multitud: el título que Kant dió a la primera parte de la *Crítica de la razón pura —Estética trascendental—* puede sugerir al desprevenido lector que se trata del estudio de la belleza; incluir a Mendelssohn entre los compositores *románticos* puede resultar en la atribución imaginaria de boleros; describir a *Haskell* como un lenguaje de programación *funcional* parecería indicar que su virtud distintiva es que “funciona”; señalar que un verbo se encuentra en *pretérito perfecto* podría sugerir que pertenece a un pasado inmejorable (a excepción, tal vez, del *pluscuamperfecto*).

Los ejemplos elegidos son —claro está— elementales e inocuos; difícilmente alguien podría confundirse en las perplejidades sugeridas. Sin embargo, existen situaciones más sutiles, en las cuales es muy fácil distraerse del significado real, y arribar a las conclusiones más asombrosas y alejadas de la formulación original. Aún hoy es posible sufrir de parte de moralistas inverosímiles la “demostración” de la relatividad moral en base a la teoría de la relatividad de Einstein. . . Pero ni siquiera el ámbito estrictamente físico se libera de una distraída interpretación de su teoría: hay quienes afirman que todo hecho físico, según Einstein, es relativo, pareciendo ignorar que una de sus afirmaciones fundamentales es que la velocidad de la luz en el vacío es constante y la misma para cualquier observador.

\* \* \*

<sup>2</sup>Propongo al asombro del lector estas otras cargas: encanto, extrañeza, color.

Ahora bien, aún cuando definamos con exactitud la denotación de los términos empleados, éste no es el único problema que aparece al ignorar las bases del estudio científico para sólo abarcar sus resultados y afirmaciones finales; también hay un problema que se manifiesta al intentar, a partir de las afirmaciones mencionadas, generar conclusiones o predicciones aplicables a la realidad. En este tipo de problemas podemos encuadrar el ejemplo que citara al comienzo de este trabajo: el alumno entendió correctamente que la masa de un cuerpo “desvía” la luz, pero su comprensión se limitaba a lo *cuantitativo*; al intentar una predicción de tipo *cuantitativo*, la misma falló.

Otra formulación de este mismo problema podría ser la siguiente: que todo conocimiento formado a partir de los enunciados finales de las ciencias suele ser demasiado *abstracto*, y carece del necesario anclaje *concreto* que lo afirme en la realidad.

\* \* \*

Mencionaré otro problema, que considero vital en su relación con la enseñanza. Los meros enunciados finales de las ciencias, tal vez merced a su concisión aseverativa, suelen imponernos sutilmente una fuerza de convicción peligrosa; sobre todo cuando esa afirmación tiene nombre propio y se nos propone como “ley” o “principio”. Quien lee o escucha que un intelectual de finales del siglo XVIII y principios del XIX afirmó que la tasa de crecimiento de la población mundial crece en proporción geométrica, mientras que el aumento de la generación de alimentos se limita a crecer en proporción aritmética, conduciendo esto a una inevitable inanición global, se siente un tanto abrumado y tiende a aceptarlo; y cuando se entera de que semejante aserto se llama “ley de Malthus”, la adhesión es ya casi inmediata y sin recelos. Por una extraña razón, tendemos a creer lo que la ciencia ofrece como resultados finales, guiados por una ciega confianza en la comunidad científica, lo publicado, y lo divulgado en general.

Por supuesto, no es necesario que enfatice la peligrosidad de este hecho. Una de las enseñanzas de la ciencia es precisamente mantener el

espíritu alerta, en busca permanente de fisuras en el conocimiento “oficial”, para corregirlas y —si fuera necesario— demoler todo el edificio presente y levantar otro.

Creo que una de las maneras de oponerse a la apatía de la aceptación irreflexiva de los categóricos enunciados finales, es hacer manifiestas las bases, hipótesis, presunciones y supuestos sobre los que se fundan. Conociéndolos, podemos rastrear mejor el alcance de aquéllos, y cuestionarlos. Frecuentemente se cita la aparición de un experimento inexplicable como la causa del cambio de un paradigma científico por otro; sin atreverme a negarlo, creo que esos cambios se producirían con mayor rapidez si se inculcara en los científicos precoces la costumbre de analizar las hipótesis primeras, entre otras cosas para estar abiertos y dispuestos al cambio.

\* \* \*

Los problema enunciados, con ser graves y dignos de nuestra atención docente, no son el objeto de este artículo. El último problema que trataré —aunque tal vez no sea tan grave como los anteriores— me interesa sobremanera ya que lo considero de orden estético y es el que quiere justificar el tal vez un tanto alarmante título del trabajo.

\* \* \*

Muchos conceptos científicos han ido modificando su significado a lo largo de la Historia. Detenemos en un instante de esa larga evolución, congelándola a nuestros ojos, equivale a negarnos un placer sutil, una riqueza exquisita y múltiple. Intentaré explicarme con un ejemplo.

Uno de los conceptos fundamentales en física es el de *onda*. Entiendo que es un concepto, además, sumamente abstracto y elusivo, tanto más cuanto que se presta a malas interpretaciones y confusiones con facilidad.

En primer lugar, resulta muy difícil definir, brevemente, qué es una onda. Muchos manuales parecen querer desentenderse del tema con la mayor rapidez posible: “Una onda es una manera de transportar energía”. Ante esta brevedad, la curiosidad se subleva. Lo mismo

valdría definir a los colectivos como “medios de transporte públicos”: ¿en qué se diferencian, entonces, de los subterráneos? No sólo las ondas transportan energía.

En esta misma línea, suele presentarse a las ondas como algo “concreto”, como si tuvieran una existencia material aparte: arrojó una piedra en un estanque, y se forman “olitas”; tengo pues, ahora, tres entidades: una piedra (en el fondo del estanque), agua y *ondas*. Pellizco la tensa cuerda de un contrabajo, y acto seguido obtengo, además de la cuerda, un nuevo ente que la recorre e inquieta: una *onda*.

Para colmo de males, la presentación en sociedad (educativa) de las ondas suele acompañarse con sólidas representaciones matemáticas de las mismas, como ésta:

$$f(x, t) = A \cdot \text{sen}(kx - \omega t)$$

o también:

$$\frac{\partial^2 f(x, t)}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 f(x, t)}{\partial x^2}$$

Ante semejante despliegue, uno casi no puede menos que pensar en las ondas como entidades concretas, materiales e independientes.

Pero volvamos al estanque. Cuando arrojamos en él una piedra, provocamos en el lugar de su caída un movimiento vertical y rítmico del agua. Este movimiento “contagia” a las regiones vecinas de agua, induciendo en ellas el mismo tipo de movimiento, el cual vuelve a contagiarse un poco más allá, para luego volver a repetirse, propagándose. . . Es ese movimiento, coordinado, rítmico y divergente, el que *percibimos* como un todo, y lo llamamos *onda*. No es el agua lo que se mueve desde el punto de impacto inicial hacia afuera: el agua sólo sube y baja siempre —aproximadamente— en el mismo lugar. No aparece una “cosa” nueva en el estanque: es la misma agua, moviéndose. Pero ese movimiento es especial: la perturbación original provocada por la piedra en su impacto, debido a las características del agua, consigue propagarse radialmente, y es en ese sentido que podemos hablar de “propagación” o “transporte” de energía.

Una alumna (que al comenzar una clase en la que desarrollamos este tema confesó, sócráticamente, no saber qué es una onda) definió sobre el final con una pregunta: “¿*Pero entonces una onda es un movimiento que se mueve?*” Por supuesto, ésta no es una definición rigurosa ni mucho menos, pero es algo mejor: es bella. Consigue capturar, al menos en parte, un concepto abstracto y elusivo con una formulación breve y, en cierto sentido, paradójica, logrando de esta manera que la *forma* (su definición) reflejara el *fondo* (la idea de onda).

La belleza ya nos salió al encuentro; sigamos.

El tipo de ondas que aparecen en los estanques es un tipo especial de onda. En particular, se las denomina *mecánicas*, aunque hay de otros tipos. Pero cuando la ciencia daba sus primeros pasos, todas compartían el mismo carácter distintivo: siempre se trataba del cambio de una magnitud física, que se repite y propaga en el espacio o en el tiempo, o en ambos a la vez. En el caso del estanque, la magnitud que cambia es la altura de cada porción de agua de su superficie, y lo hace en el espacio del estanque y también a lo largo del tiempo desde que se arrojó la piedra —y, por supuesto, hasta que la perturbación se amortigué completamente. En la cuerda de un contrabajo, lo que cambia es la posición de cada porción de cuerda con respecto a una posición convencional, que bien puede ser la de equilibrio.

Ésta era la idea clásica de las ondas, y que las oponía de manera irreconciliable con los objetos materiales. Una onda, así entendida, puede existir *merced* a la materia, pero es algo *distinto* a la materia. Y así como una onda no es un *cuerpo*, no tendría sentido pensar a un cuerpo como una onda.

Ahora bien, durante mucho tiempo se aceptó que la luz era alguna especie de onda, debido a que su comportamiento evidenciaba características que, clásicamente, se consideraban propias de los fenómenos ondulatorios, como la *interferencia* y la *difracción*.<sup>3</sup> El pro-

<sup>3</sup>Lamentablemente, debido a los límites de este trabajo no podemos extendernos sobre ellas. Quien

blema residía en tratar de compatibilizar la idea clásica de onda con otras características de la luz: su enorme velocidad, la capacidad de viajar por los medios más disímiles. Si tratamos de pensar en la luz como una onda mecánica, debería existir un medio cuyo movimiento rítmico y coordinado permita su propagación, a la manera del agua del estanque —recordemos que si bien las ondas no son el agua, sin agua no hay ondas. Este difícil medio fue llamado *éter*, y lo califico como difícil ya que debía reunir dos cualidades aparentemente incompatibles: por un lado, debía ser lo suficientemente sutil como para penetrar e intimar con los distintos medios materiales por los cuales vemos viajar a la luz; por el otro, debía ser lo suficientemente rígido como para explicar la enorme velocidad que se atribuía a la luz.

La respuesta llegó años después, con la idea de que en realidad en la luz lo que cambia no es una magnitud física de *algo material*, sino dos propiedades físicas del *espacio mismo*: el campo eléctrico y el campo magnético. Dichos campos no son propiedades de un cuerpo, sino de las regiones del espacio; es algo que podemos *medir* en un determinado lugar, pero que no está anclado a un determinado objeto.<sup>4</sup> Tal vez este ejemplo disipe alguna perplejidad: uno podría pensar en la “*existencia de una silla*” como una propiedad del espacio. Es decir, uno puede afirmar de un determinado lugar que allí *hay* o *no hay* una silla. Es ésta una propiedad objetiva y medible, pero que no pertenece a ningún objeto: no decimos que la existencia o no de una silla sea propiedad de una mesa, o de un escritorio, o de la misma silla. De la misma manera, la presencia y el valor de los campos eléctrico y magnético en un punto del espacio es propiedad pura y exclusiva de ese punto, y no de algún cuerpo.<sup>5</sup>

deseo profundizar en estos temas, puede encontrar útiles [1] y [2].

<sup>4</sup>La idea puede asustar de puro abstracta... y es natural que así sea. De hecho, con respecto a la idea de *campo* podría realizarse el mismo análisis que en este trabajo hago sobre las ondas; quedará como ejercicio para el lector.

<sup>5</sup>Para el desarrollo de los conceptos de campo

Salvada satisfactoriamente la idea de que la luz puede ser una onda —más precisamente entonces: una onda electromagnética— a principios del siglo XX una serie de experimentos vinieron a cuestionar la oposición onda—cuerpo material, entre otros los llamados *efecto fotoeléctrico* y *efecto Compton*. En ellos, se podía comprobar que la luz podía interactuar con la materia como si estuviera formada por pequeñas porciones de materia, ni más ni menos. Es decir, si mediante un generador provocamos en el espacio esa particular variación del campo electromagnético que es la luz, y nada más que esa variación, al mismo tiempo esa misma luz resulta capaz de interactuar como si estuviera formada por partículas.

Esto no es todo: otros experimentos mostraron que ciertos entes que clásicamente respondían a la interpretación material, como los electrones, se comportaban ante ciertos experimentos exactamente como lo harían las ondas; esto es, se comprobó experimentalmente que los electrones *interfieren* y se *difractan*.

Actualmente, es la física cuántica la que se dedica a elaborar y hacer progresar éstas y otras prolijas, precisas y alucinatorias abstracciones. Y es aquí donde quiero detenerme para manifestar el problema que me ocupa.

En general, es mi experiencia que el hombre común (o al menos, el alumno común) cuenta de antemano con la baratija de la construcción verbal “*dualidad onda—partícula*”. No se alarma —porque no la percibe— ante la profunda y deliciosa paradoja que en ella palpita, vital y vertiginosamente. No pasó por los estadios previos, con una comprensión más o menos cabal de los términos de esa dualidad, que le permitan disfrutar con fruición de la paradoja. Y entiendo que ésta es una pérdida gravosa, debida al apuro por apoderarse de los resultados más actuales de la física moderna, sin detenerse en su evolución.

\* \* \*

No es mi intención hacer la vindicación de la Historia de la Ciencia. Los conceptos clásicos de onda y cuerpo material no son viejos;

eléctrico y magnético, debo nuevamente remitirlos a la bibliografía.

son parte de nuestra manera más directa de ver e interpretar el mundo. La adquisición de conocimientos superadores, como los de la física moderna, son indispensables; pero llegar a ellos obviando los datos de nuestra experiencia cotidiana no sólo equivale, según mi entender, a no comprenderlos cabalmente, sino —lo que es aún peor— privarnos del deleite y goce propios de la sorpresa intelectual, que tanto se parece a la emoción estética. 

## Referencias bibliográficas

[1] Feynman, R., *Física*, Addison Wesley Ibe-

roamericana S.A., México, 1971.

[2] Resnick, R., Halliday, D. y Krane, K., *Física*, Compañía editorial continental, México, 1993.

## Noticias del autor

**Luis G. López**

llopez@cnba.uba.ar

Jefe de ayudantes del Observatorio. Docente del Curso General de Astronomía, cursos especiales, talleres y charlas.