

## AUTORIDADES ACADÉMICAS

**Rector:** *Dr. Guillermo R. Tamarit*  
**Vicerrectora:** *Mg. Danya V. Tavela*  
**Secretario General:** *Abog. Pablo G. Petraglia*  
**Secretario de Investigación, Desarrollo y Transferencia:** *Dr. Jerónimo E. Ainchil*  
**Secretaria Académica:** *Abog. Ma. Florencia Castro*  
**Secretario de Extensión Universitaria:** *Lic. Juan P. Itoiz*  
**Secretaria de Asuntos Económico-Financieros:** *Cdora. Mariela E. García*  
**Secretario Legal y Técnico:** *Abog. Carlos D. Pérez*  
**Directora de Instituto de Posgrado:** *Prof. Ma. Rosa Depetris*  
**Directora Centro de Edición y Diseño:** *DCV Ma. de las Mercedes Filpe*  
  
*Guardasellos: Ing. Luis J. Lima*

DIRECTOR DE LA REVISTA  
*Dr. Ángel L. Plastino*

---

## SUMARIO

### #1 CIENCIA PARA LA VIDA

**PÁG. 4 EL PLANETA TIERRA:  
SU ESTRUCTURA Y SU  
BALANCE ENERGÉTICO**  
*MIGUEL A. BLESA Y  
DANIEL S. CICERONE*

**PÁG. 34 DE LAS LEYES  
DE NEWTON  
A LA GUERRA  
DE TROYA**  
*ÁNGEL R. PLASTINO*

**PÁG. 50 EL MEJORAMIENTO  
GENÉTICO  
DE ESPECIES  
FORRAJERAS**  
*ADRIANA ANDRÉS*

**PÁG. 17 PREVENCIÓN PRIMARIA  
DE DIABETES TIPO 2**  
*JUAN J. GAGLIARDINO*

**PÁG. 40 HECHOS E IDEAS PARA  
PENSAR LA EDUCACIÓN**  
*GUILLERMO JAIM ETCHEVERRY*

---

#### Edita

CEDi Centro de Edición y Diseño. UNNOBA  
DCV Ma. de las Mercedes Filpe

Libertad 555, CP.6000 Junín / Tel 54 236 4407750  
Monteagudo 2772, CP.2700 Pergamino / Tel 54 2477 409500  
Buenos Aires, Argentina  
Callao 289 3.º piso, CP.1022 Ciudad Autónoma de Buenos Aires /  
54 11 53531520, Argentina

#### Diseño y diagramación

CEDi Centro de Edición y Diseño  
Coordinador: DCV Cristian Rava  
DCV Ma. de las Mercedes Ortín, Adolfo Antonini,  
DCV Bernabé Díaz

Corrector de estilo: Mariángel Mauri  
Fotografía: Nicolás Acuña

**Impresión**  
Integraltech S.A.

Año 1 N.º 1

Noviembre de 2014  
Tirada 500 ejemplares  
ISSN 2408-4492  
Queda hecho el depósito que marca la ley 11.723

*Se invita a potenciales colaboradores a remitir sus trabajos  
al CEDi ([cedi@unnoba.edu.ar](mailto:cedi@unnoba.edu.ar))*

[www.unnoba.edu.ar](http://www.unnoba.edu.ar)

# EDITORIAL

¿Por qué ofrece la UNNOBA una revista de divulgación científica? Existe un cierto retraso en el desarrollo de la divulgación de la ciencia en relación con los vertiginosos avances científicos que se registran desde la segunda mitad del siglo XX y, en especial, durante los primeros años del actual siglo. Esto ocasiona una suerte de desfase entre la sociedad y sus científicos. Por ello resulta interesante e importante intentar llevar aspectos de la ciencia al público. Esto constituye a la vez un desafío y una necesidad social. Para satisfacerla, científicos, docentes, periodistas y escritores tratan a menudo de ayudar a los ciudadanos a valorar la Ciencia y superar posibles temores con relación a ella. En este contexto se enmarca la UNNOBA a través de su publicación *NÚCLEOS*. Pretendemos que nuestros autores acerquen a los lectores una visión actualizada de recientes desarrollos científicos, en particular aquellos que se originan en el país.

En tal intento podemos hablar tal vez de “alfabetización científica”, o bien de “popularización de la ciencia”. Salvando pequeñas diferencias semánticas, nos interesa realmente ayudar a gentes de cierto nivel cultural a compenetrarse y entender la relevancia de la Ciencia, acercándola en forma directa. Así atenderíamos 1) a un elemental requerimiento de información científica y 2) a superar temores que algunos puedan albergar sobre el quehacer de los científicos. Aquí hablamos de la inquietud que provoca lo desconocido, lo incomprensible, lo extraño y lo misterioso, que acompaña cierta imagen de la ciencia como derivada bien del desconocimiento, bien de la incomprensión. Es natural que se pueda llegar a sentir algún miedo a los cambios revolucionarios que la ciencia y la tecnología introducen en nuestra sociedad, sobre todo a partir de la segunda mitad del siglo XX, vía fantásticas innovaciones y grandes sorpresas que brindan apasionantes conjuntos de disciplinas científicas. Hay enormes consecuencias tecnológicas y humanas, con avances considerables en las telecomunicaciones y la informática, descubrimientos grandiosos en la biología, etc.

El problema mayor de la divulgación científica (DC) en el mundo es, como decimos arriba, el atraso que sufre, si se la compara con los avances gigantescos de la ciencia y la tecnología, con su influencia creciente y decisiva en el individuo y en los grupos sociales de nuestra época. En verdad, no se ha sido aún capaz, en nuestro medio, de establecer un diálogo fecundo entre ciencia y sociedad. Parece obvia la necesidad, para el desarrollo cultural de un pueblo, de que cierto tipo de investigaciones, hallazgos, descubrimientos, experimentos y preocupaciones de los científicos puedan ser transmitidos al público, que forma parte de la Sociedad de la Información pero que, en general, conoce muy poco sobre ciencia y tecnología, a pesar de que estas estén cambiando al mundo, transformando de modo radical la vida cotidiana. Nuestra propuesta es intentar, de forma modesta pero eficaz, que más allá de divulgar información, se acerquen al público elementos esenciales del desarrollo del conocimiento científico, contribuyendo con nuestro granito de arena a satisfacer la mencionada necesidad de divulgar la ciencia como instrumento de igualación cultural y de acceso generalizado al principal motor de transformación del Mundo. Cierta grado de compenetración con lo científico es esencial para toda actividad profesional, en una era de crecientes exigencias de calidad y de especialización. Debería verse a la divulgación como un proceso de desarrollo e integración de múltiples disciplinas y oficios, capaz de crear una atmósfera de estímulo a la curiosidad por la ciencia y su método, ayudando a despertar la imaginación, cultivando el espíritu de investigación, y desarrollando la capacidad de observación, la claridad de pensamiento y la creatividad. Se contribuiría así a descubrir vocaciones científicas, propiciando una relación más estrecha con los científicos.

Esto ayudaría a erradicar mitos y podría abrir caminos hacia la participación en el desarrollo cultural universal. Es casi unánime la convicción de que avances, hallazgos, experimentos, investigaciones y preocupaciones científicas se deban presentar al público y se constituyan en parte fundamental de su cultura. *NÚCLEOS* pretende desarrollar una modesta función complementaria de la enseñanza. La divulgación científica no sustituye a la educación, pero puede llenar vacíos en la enseñanza moderna, contribuir al desarrollo de la educación permanente y ayudar a adoptar una determinada actitud ante la ciencia. Se combatiría así cierta falta de interés. Mucha gente entiende bien aspectos de la política relacionada con la guerra, el orden público, la sanidad, la educación y el medio ambiente, pero la base de muchas de estas políticas sectoriales es la I+D asociada a la Ciencia, que permite la innovación y sobre la que, mayoritariamente, se ignora casi todo. Pretendemos comunicar ciertos avances de las grandes disciplinas de nuestro tiempo: astronomía, cosmología, origen de la vida, biología, conocimiento del universo (micromundo y macromundo) y del propio ser humano. En otras palabras, ayudar a la gente a comprenderse a sí misma y a comprender su entorno, tanto el visible como el invisible.

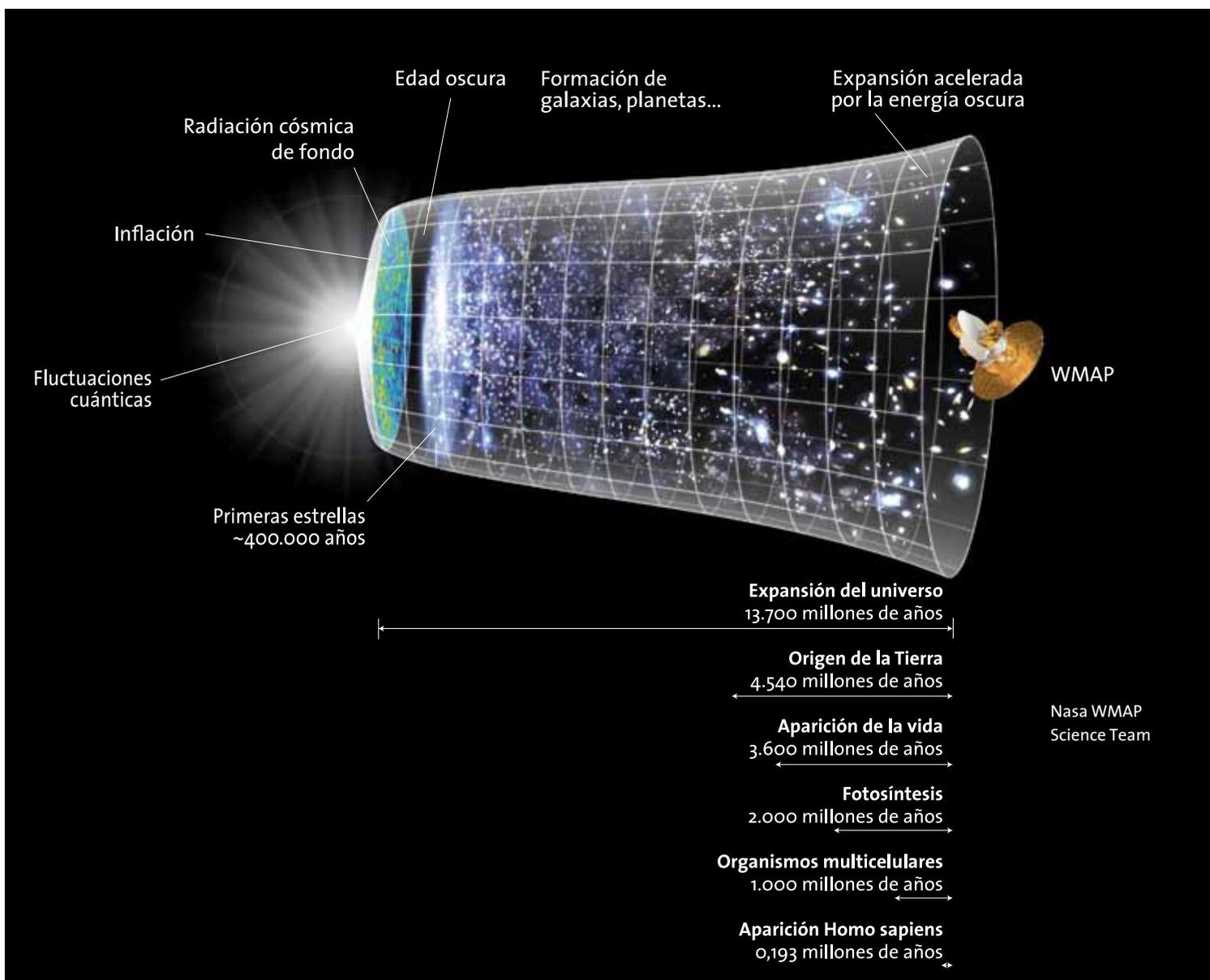
Terminamos esta exposición con palabras de Albert Einstein. Nada menos que para este genio tuvo la divulgación aspectos muy positivos. Nos dice lo siguiente: “Tuve asimismo la buena fortuna de conocer los resultados y métodos esenciales de toda la ciencia natural a través de una excelente exposición de carácter divulgador que se limitaba casi exclusivamente a lo cualitativo (los libros de divulgación científica de Bernstein, una obra en cinco o seis tomos), obra que leí con un interés que me robaba el aliento” [Albert Einstein, *Notas autobiográficas*, Alianza Editorial, 1984].

El lector juzgará por sí mismo si, en algún mínimo grado, la lectura de *NÚCLEOS* responde a estas disquisiciones editoriales.

Dr. Ángel Luis Plastino, Director.

# EL PLANETA TIERRA: SU ESTRUCTURA Y SU BALANCE ENERGÉTICO

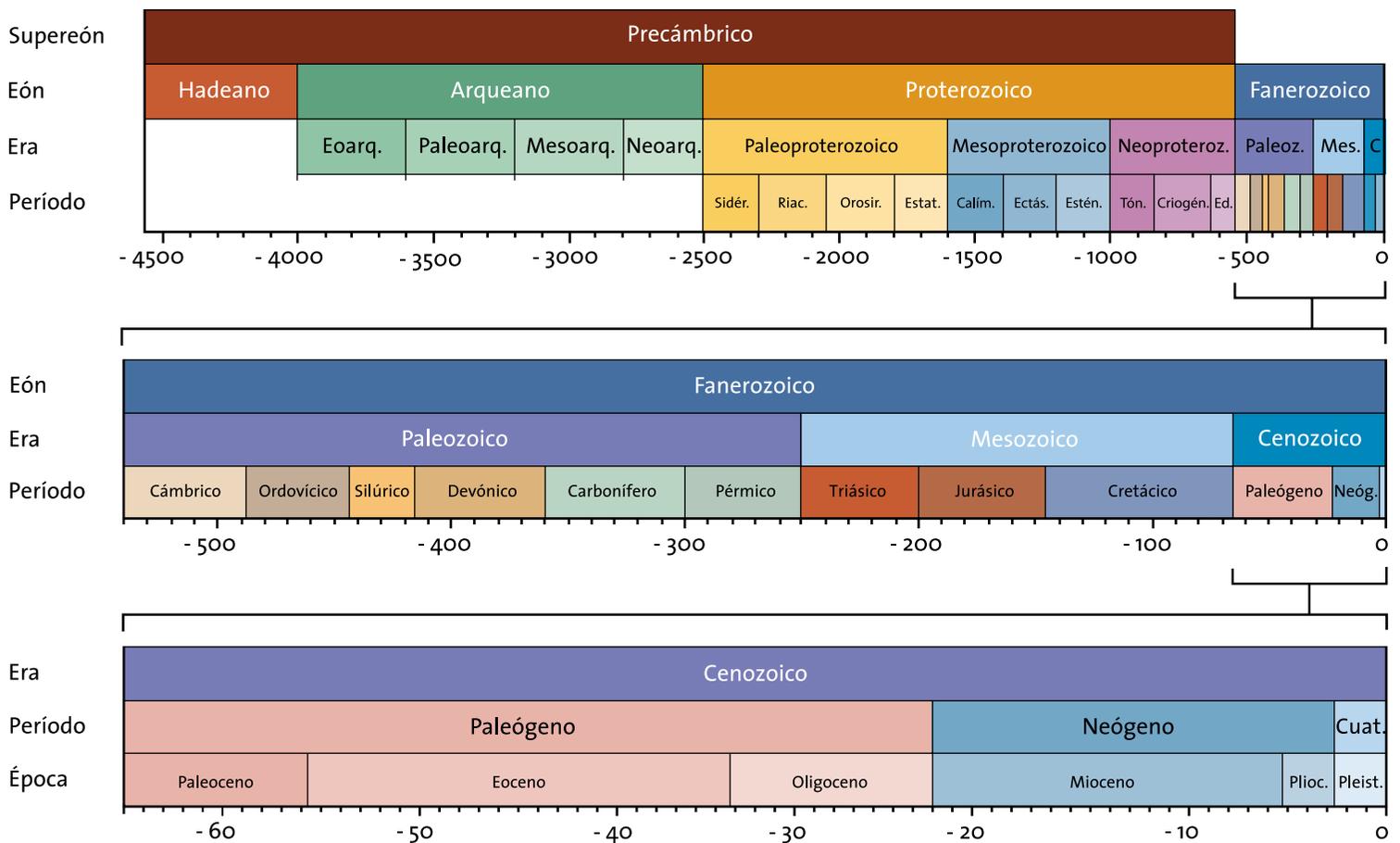
El contenido de este artículo está tomado esencialmente del Capítulo 1 del libro inédito Química y Física para la Gestión Ambiental, de Miguel A. Blesa y Daniel S. Cicerone



## LOS ORÍGENES DEL PLANETA

Las ciencias brindan en la actualidad una descripción detallada de cómo funciona el planeta Tierra. Lejos estamos de las visiones que lo describían inconmensurable, inmutable y eterno. Ahora conocemos bien sus dimensiones, podemos poner fecha a su origen y prever que no es eterno, y sabemos que, lejos de ser inmutable, está sujeto a constantes cambios, en todos sus niveles. Estos cambios son a menudo imperceptibles porque las escalas de tiempo son muy largas, como se muestra en la Figura 1. Superpuestos a esos cambios irreversibles, están los típicos cambios estacionales, “los ritmos de la naturaleza”.

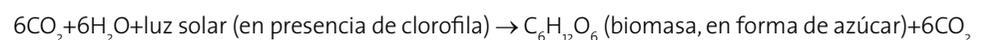
**Figura 1.** Cronología del universo (tomada, con modificaciones, de la imagen diseñada por el NASA/WMAPScienceTeam (WMAP: Wilkinson Microprobe Anisotropy Probe). Para una interpretación detallada, consultar la página <http://science.nasa.gov/missions/wmap/>).



**Figura 2.** Eones, eras, períodos y épocas geológicas. La escala de tiempo está en millones de años (adaptada de Wikipedia).

La historia geológica de la Tierra se divide en *eones*, constituidos por *eras*; estas tienen varios *períodos*, los que a su vez se dividen en *épocas*. La reconstrucción de la historia geológica se basa en el estudio de los diversos estratos que forman las rocas, entendiéndose que los estratos más profundos son más antiguos. La naturaleza de las rocas y en particular los fósiles que se incorporan a los estratos son usados como indicadores de los grandes cambios que ocurrieron en el planeta a lo largo de su evolución. La Figura 2 siguiente muestra esta clasificación, con más detalle para los tiempos más recientes. Incluso se suele subdividir a las épocas en *edades* (no mostradas en la Figura 2). En la figura no se alcanza a distinguir la segunda época del período actual, el *Cuaternario*. Esta época es el *Holoceno*, que comenzó hace 11.700 años, con el fin de la última glaciación y la aparición de la civilización del hombre.

La vida apareció en la Tierra hace unos 3.500.000.000 de años. La figura 1 muestra que solo mucho después, hace alrededor de 2.100.000.000 años, comenzó la fotosíntesis. Fue entonces cuando los organismos fotosintéticos fueron capaces de fijar dióxido de carbono y agua, y transformarlos en biomasa y oxígeno:



La actividad biológica fotosintética cambió la composición de la atmósfera, reemplazando el dióxido de carbono por oxígeno, y abrió paso a la evolución posterior, con la aparición de organismos multicelulares, y solo ayer, la aparición del *Homo sapiens*, en el último 0,05% de la historia de la Tierra. Puede verse que toda la civilización humana es solo un instante en la historia del planeta, y un instante aún más fugaz en la historia del universo.

El ritmo de cambio puede ahora estar muy influido por la actividad antrópica, y ese es uno de los grandes temas que importan en la actualidad, ya que ese ritmo de cambio es para muchos incompatible con cualquier esperanza de sustentabilidad. Esos cambios han tomado una envergadura tal que ya se ha propuesto que hemos entrado en una nueva época geológica, el *Antropoceno*. Aunque todavía no aceptada por la comunidad geológica, la mera formulación de esta propuesta refleja la magnitud de los cambios que viene experimentando el planeta por acción antrópica.

El sistema solar se formó aproximadamente hace unos 4.600.000.000 de años. La materia presente en una nube estelar, por colapso gravitacional, dio origen al Sol. Esa nube estelar está compuesta fundamentalmente por hidrógeno, pero contenía también cantidades, proporcionalmente minúsculas, de átomos más pesados que se habían originado por síntesis en otra estrella. En el proceso se formó también un *disco de acreción* formado por gas que orbitaba alrededor del nuevo sol. El enfriamiento de los gases del disco de acreción hizo que los metales y el silicio presentes en minúsculas cantidades condensaran, dando origen a pequeñas partícu-

las de metales y rocas. La colisión de estas partículas dio origen a *planetesimales*, pequeños objetos de tamaño del orden del km, y los planetas más pequeños, como Mercurio y Marte. Después, por colisión de algunos de estos objetos masivos grandes, se formó la Tierra. La condensación de hielo y dióxido de carbono tuvo lugar a distancias mayores, y explica la formación de los planetas exteriores.

La Tierra original estaba tan caliente que era una masa fundida. Al irse enfriando, se formaron rocas sólidas, y probablemente ya en esa etapa se segregaron gases que formaron una atmósfera constituida esencialmente por dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y nitrógeno ( $\text{N}_2$ ). También se formaron mares por segregación de agua líquida. La actividad volcánica contribuyó a la formación de la atmósfera por emisión de gases.

## LA ESTRUCTURA DE LA TIERRA

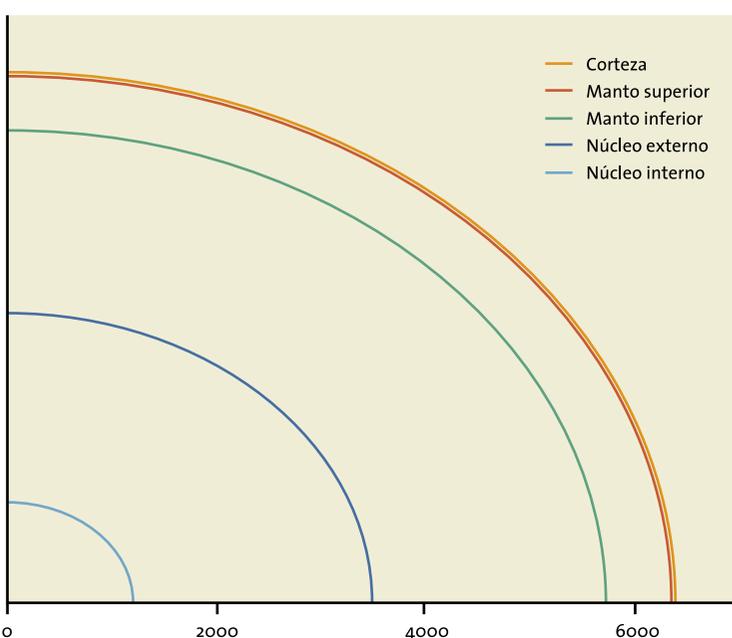
En la actualidad la Tierra es un esferoide, con un diámetro ecuatorial de alrededor de 12.763 km, y un diámetro polar de alrededor de 12.720 km. Su topografía, rugosa para los hombres, muestra una cresta de máxima altura sobre el nivel del mar en el Monte Everest, en el Himalaya, con 8,85 km de altura. La fosa marina más profunda, la fosa de las Marianas en el Océano Pacífico, tiene una profundidad de 10,9 km. La rugosidad de la superficie es entonces de solo 0,1%, lo que explica las imágenes de esferoide liso que estamos ahora acostumbrados a ver. La capa explorada y accesible al hombre (con excepción de los ámbitos explorados en los viajes espaciales) es pues una delgada capa de cebolla en la superficie del planeta. También la atmósfera es una delgada capa: el 99,9% de la masa de la atmósfera se concentra en los primeros 50 km.

Las mediciones recientes establecen que la masa de la Tierra es de  $5,97 \times 10^{27}$  g. La Figura 3 muestra un corte de la Tierra (no incluye la atmósfera).

En la Figura 3 puede verse que la *corteza* es una delgada capa, con un espesor de entre 5 y 70 km. La corteza continental está compuesta de rocas. Se llama “roca” a un cuerpo sólido habitualmente compuesto de una mezcla de minerales. Las minerales más abundantes son los silicatos y silicoaluminatos de calcio, magnesio, hierro u otros metales. Las rocas que constituyen la corteza son llamadas *félsicas*; un ejemplo típico es el granito, que es una mezcla de tres minerales: *cuarzo* ( $\text{SiO}_2$ ), *mica* (una composición típica de la mica es  $\text{Na}_2\text{Al}_4\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4$ ) y *feldespatos* (una composición típica del feldespato es  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ). La corteza oceánica está compuesta de rocas *máficas*, como el basalto, que se forma con minerales que son silicatos de hierro y magnesio.

La corteza dista mucho de ser una capa inerte; simplemente, los tiempos asociados con sus cambios son largos. Las rocas félsicas y máficas llegan a la superficie a través de la actividad volcánica; se forman a partir de la lava fundida. Las transformaciones de los componentes de la corteza, por acción de la atmósfera y de las aguas naturales son llamadas genéricamente *meteorización*. Este fenómeno es el responsable de la formación de los sedimentos, que están formados por material que se disolvió y volvió a precipitar, o que fue pulverizado por acción de los vientos y las lluvias. Esos sedimentos a su vez sufren el fenómeno de *diagénesis* y *metamorfismo*, con formación de nuevas rocas, distintas de las ígneas, en la secuencia

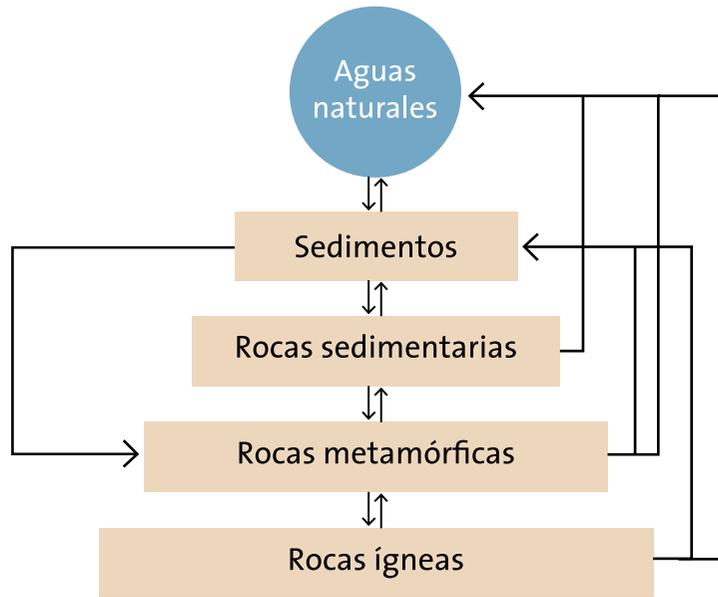
**sedimentos** → **rocas sedimentarias** → **rocas metamórficas** → **rocas ígneas**.



**Figura 3.** Corte esquemático de la Tierra. El eje horizontal muestra la distancia al centro en km. Adviértase que la corteza es una delgada capa cuyo espesor, variable entre 5 y 70 km, es despreciable en la escala de la figura.

**Figura 4.** Ciclo de la materia en la corteza terrestre (Modificada de Blesa y col., 2012).

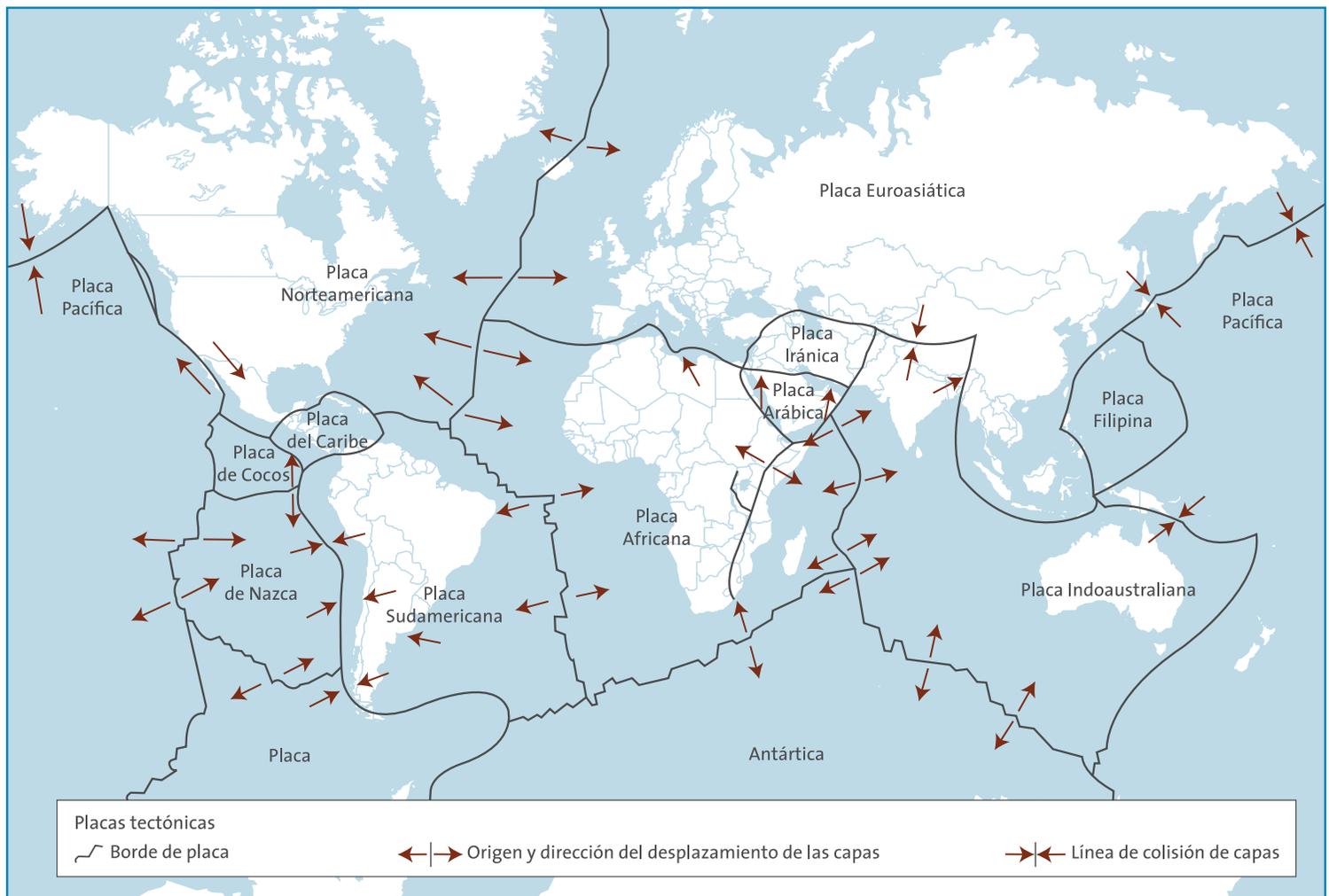
La Figura 4 muestra el gran ciclo que se establece en la corteza.



El *manto* está compuesto por rocas *ultramáficas* que, en comparación con las rocas máficas, están enriquecidas en magnesio y en hierro. El manto es sólido, pero tiene una cierta fluidez (en escalas de tiempo geológicas). La parte superior del manto compone, junto con la corteza, la *litósfera*. La parte inferior del manto superior se denomina *astenosfera*, y tiene propiedades mecánicas diferentes. En la litósfera, el manto está formado por placas tectónicas, que pueden desplazarse con diversos tipos de movimientos. La Figura 5 muestra las placas tectónicas, tal como se las conoce hoy.

**Figura 5.** Principales placas tectónicas. Tomado de <http://jcdonceld.blogspot.com.ar/2010/11/placas-tectonicas.html>.

El *núcleo* es metálico. Contiene fundamentalmente hierro, y también níquel. El núcleo exterior está fundido, mientras que el núcleo interior se solidificó. La solidificación del manto fundido es una fuente de calor.

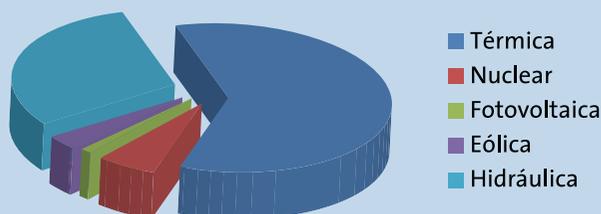


## UNIDADES DE ENERGÍA

La unidad de energía del Sistema Internacional (SI) de Unidades es el joule (J). La energía consumida por unidad de tiempo se conoce como potencia, y la unidad de potencia es el vatio, o watt (W). 1W es simplemente 1 J por segundo. Si se consume una potencia de 1000 W (1 kW) durante una hora, la energía total consumida es 1 kWh (kilovatio hora). Debe notarse que mientras el kilovatio es una unidad de potencia, el kilovatio hora es una unidad de energía. Se puede calcular fácilmente que  $1 \text{ kWh} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$ .

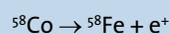
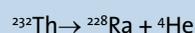
En una usina eléctrica, su tamaño se pide por su potencia, es decir, por la cantidad de energía que puede producir por unidad de tiempo. En la Argentina, la potencia total instalada del parque de producción eléctrica en diciembre de 2013 era de 31.401,9 MW (1 MW = 10<sup>6</sup> W). La Figura muestra la contribución a este valor de los distintos modos de generación (Subgerencia de Planificación Estratégica de la CNEA, diciembre de 2013).

La factura de electricidad refleja la energía total consumida, medida en kWh consumidos.



## LA DESINTEGRACIÓN RADIATIVA

Durante mucho tiempo fue un postulado básico de la Química que los átomos eran indestructibles y que el átomo de un determinado elemento no podía transformarse en el átomo de otro elemento. Para el desarrollo de la ciencia, ese postulado fue crucial, pero, como toda verdad científica, era falsable, en el sentido de que siempre podía aparecer algún experimento que pusiera en evidencias los límites de validez del postulado. Estos experimentos tuvieron lugar en la primera mitad del siglo XX, con el descubrimiento de la radiactividad. Se pudo comprobar entonces que, en ciertas condiciones, los átomos podían desintegrarse a través de diversos fenómenos. Los fenómenos más usuales son la eyección, desde el núcleo del átomo, de un electrón negativo, de un electrón positivo, o de una partícula alfa, compuesta por dos protones y dos neutrones. Esas desintegraciones producen cambios en el número de protones y/o en el número de neutrones del núcleo, y van usualmente acompañadas por la emisión de radiación electromagnética (rayos  $\gamma$ , ver § 7). Escribimos a continuación algunos ejemplos de reacciones de desintegración radiactiva:



## LOS FLUJOS DE ENERGÍA DESDE EL INTERIOR DE LA TIERRA

La temperatura en la región central de la Tierra es del orden de 5.500 °C, y esa temperatura va disminuyendo hasta alcanzar el valor típico de superficie, 14 °C. Existe pues un importante gradiente térmico, y el interior del planeta está aportando constantemente energía a la superficie. El valor de la energía que llega por segundo a la superficie terrestre ha sido estimado en  $4,2 \times 10^{12}$  joules. Puede compararse este valor con el consumo de energía total por parte del hombre, que se estima es de  $1,5 \times 10^{12}$  joules/s. En otras palabras, el consumo del hombre es del orden de un tercio de la energía que se libera desde el interior de la Tierra.

*¿Cuál es el origen de esa energía?*

Ya se mencionó el aporte de la solidificación de los metales líquidos del núcleo. Este aporte es sin embargo menor. La gran mayoría (tal vez hasta el 80%) proviene del decaimiento radiactivo del  ${}^{232}\text{Th}$ ,  ${}^{238}\text{U}$  y  ${}^{40}\text{K}$  (en menor medida, también contribuye el  ${}^{235}\text{U}$ ). El resto proviene de fenómenos físicos, como el efecto de las fuerzas gravitacionales y la solidificación del núcleo exterior ya mencionada.

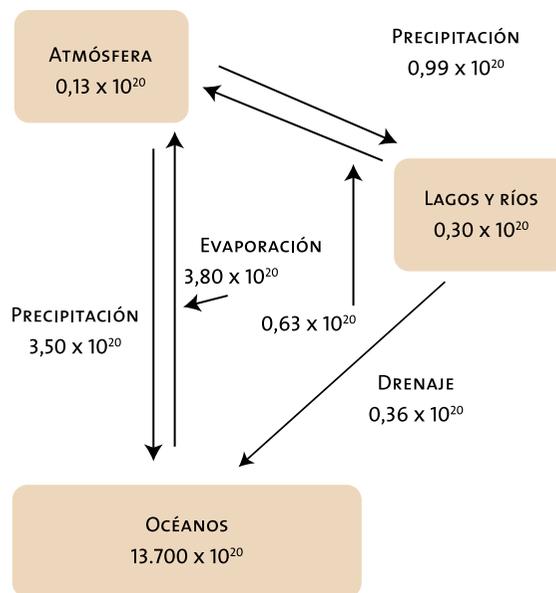
## LA HIDRÓSFERA

En la Tierra hay aproximadamente  $1,4 \times 10^{24}$  g de agua. La superficie de la Tierra está cubierta en buena medida por agua líquida, como lo muestra la imagen de *Google Earth* (Figura 6). Se advierten allí también las nubes (pequeñas gotas de agua suspendidas en la atmósfera) y los hielos antárticos. Los océanos constituyen una delgada capa superpuesta a la Figura 3: la profundidad máxima de una fosa oceánica es de cerca de 11 km; los océanos contienen el 97% del total del agua del planeta.

El agua se mueve desde el océano a las nubes. De éstas, por precipitación, se forman las aguas superficiales y los hielos, y el agua regresa al océano por escorrentía. La Figura 7 muestra las cantidades de agua exis-

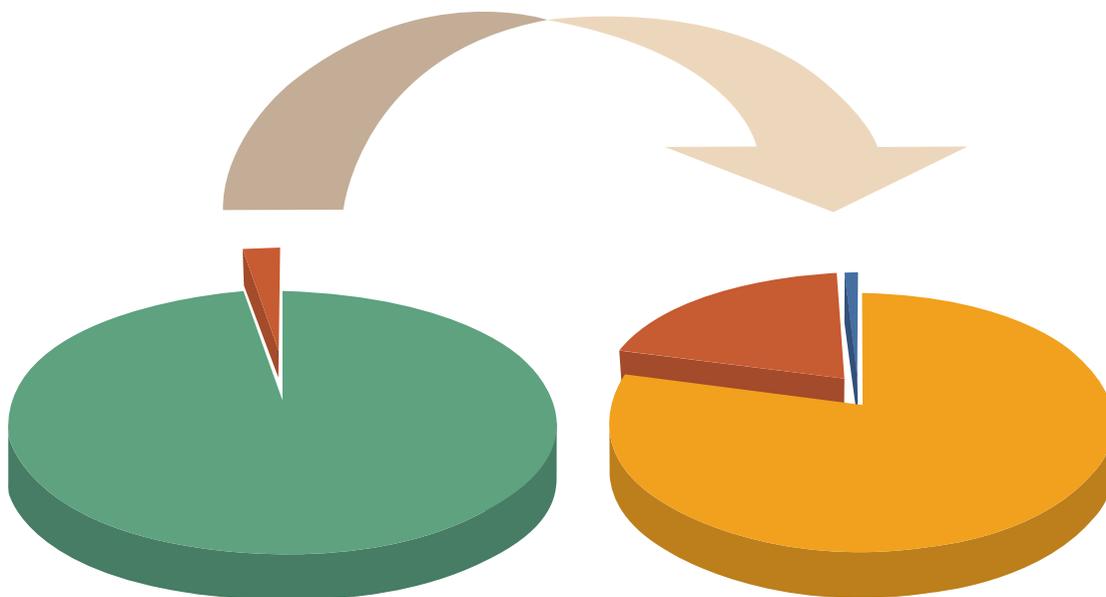


**Figura 6.** Imagen del Planeta “Aqua”, con grandes masas de agua sólida, líquida y vapor.



**Figura 7.** Reservorios y flujos del ciclo hidrológico. Los inventarios de los reservorios están en gramos y los flujos entre reservorios en gramos por año.

**Figura 8.** Distribución del agua: La torta de la izquierda muestra que el 97,5% es agua de mar (en azul), mientras que el 2,5% es agua dulce (en marrón). La torta de la derecha muestra que los hielos dan cuenta del 79% del agua dulce (en violeta); el agua subterránea representa el 20% (en marrón), y las aguas superficiales solo el 1% (en verde)



tentes en cada *reservorio* (masas en gramos), y las cantidades que fluyen anualmente entre reservorios (*flujos*, masas en gramos por año).

Puede verse en la Figura 7 que las aguas dulces son una fracción pequeña del agua del planeta. Esta agua se distribuye en aguas subterráneas, lagos y ríos. La Figura 8 muestra sus importancias relativas.

Las aguas subterráneas forman los acuíferos que, como se ve, constituyen una reserva fundamental de agua dulce. La Figura 9 muestra detalles sobre las aguas subterráneas.

Finalmente, la Figura 10 muestra esquemáticamente el ciclo hidrológico. Este ciclo describe el movimiento del agua en el planeta. Podemos elegir comenzar dicho ciclo con la evaporación del agua, esencialmente en el mar, y en mucha menor medida desde el dosel forestal (la canopia). La evaporación del agua es un fenómeno que requiere energía. Se requieren 2,28 kJ para evaporar 1 gramo de agua, y este valor es responsable de que una fracción importante de la radiación solar entrante en la atmósfera (80 W/m<sup>2</sup>, del orden del 23% del total) se absorba en el proceso de vaporización del agua. Toda esa energía absorbida por el agua en la evaporación es devuelta en las etapas siguientes del ciclo hidrológico. El tema del balance energético del planeta se retoma más adelante. El ciclo hidrológico se completa con la precipitación del agua atmosférica (mediada por la formación de nubes), la formación de aguas y nieves y su regreso al mar a través de la escorrentía de aguas superficiales y aguas subterráneas, estas últimas formadas por infiltración desde la superficie en las llamadas zonas de recarga.

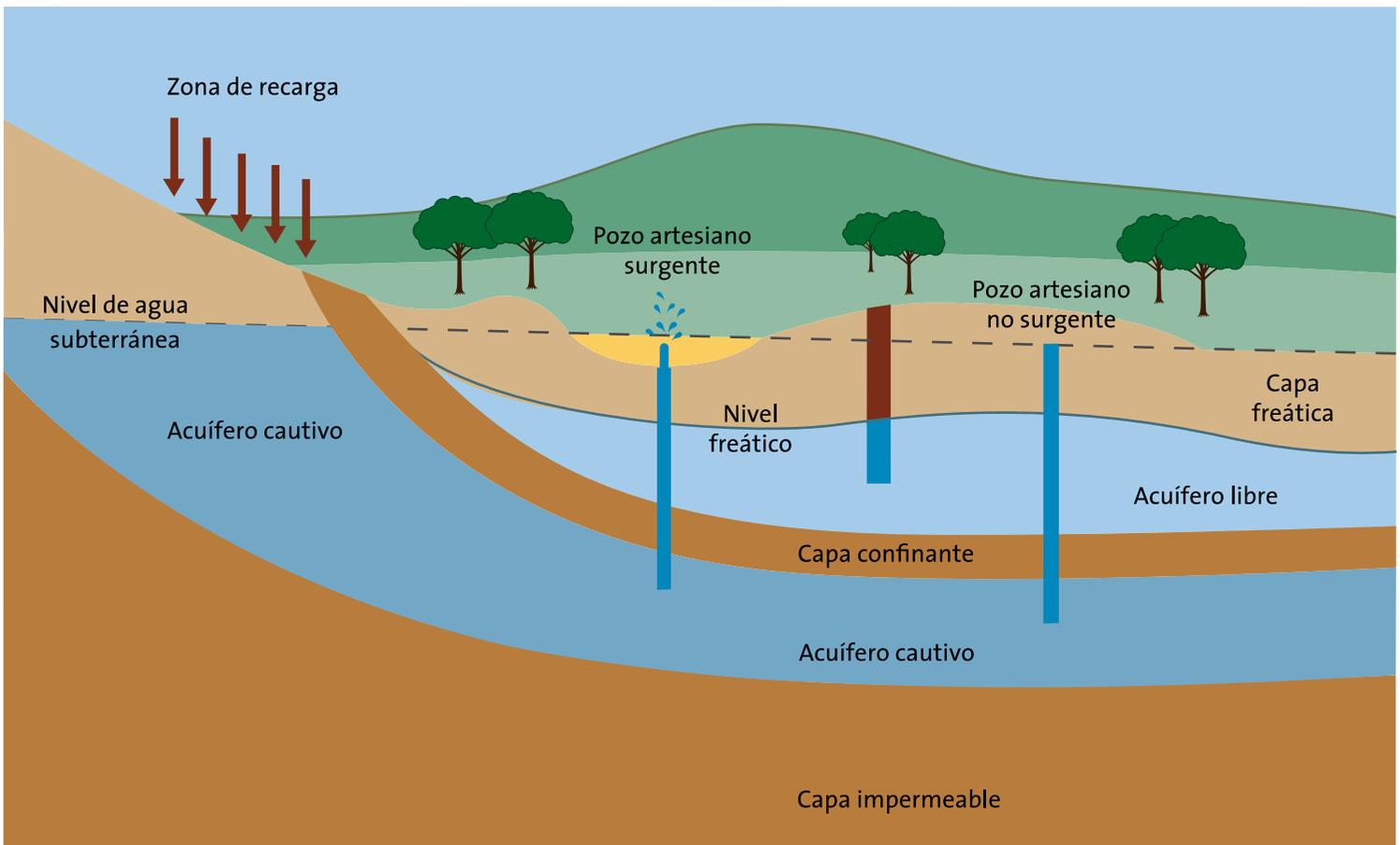
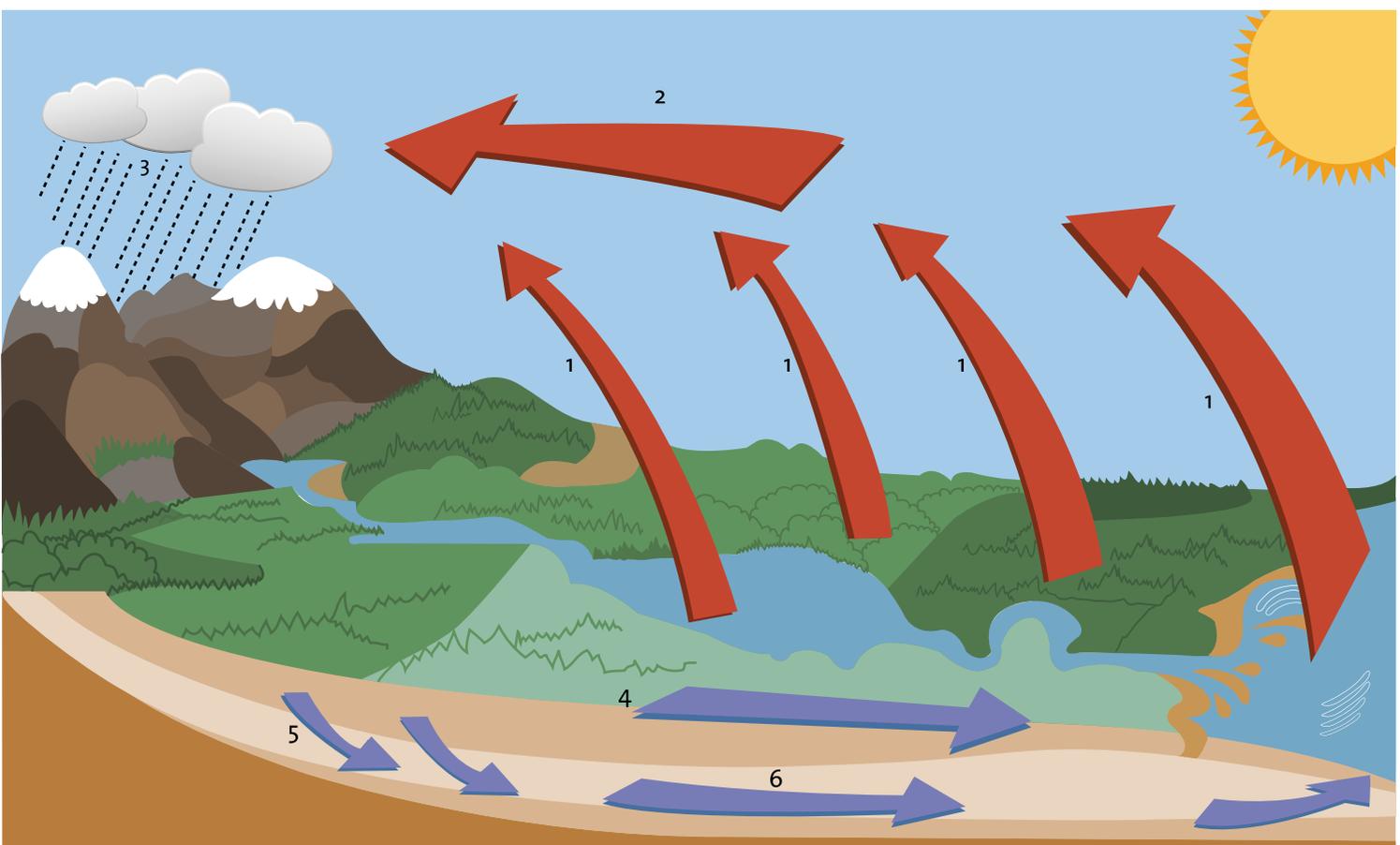


Figura 9. Aguas subterráneas



**LA ATMÓSFERA**

La masa total de la atmósfera es  $5 \times 10^{18}$  kg. De esta masa, 75% se concentra en los primeros 10 km (tropósfera). La Figura 11 muestra las distintas regiones de la atmósfera. Advértase que el espesor total de la tropósfera es solo el 0,8% del diámetro de la Tierra (algo más de 12.700 km).

Figura 10. El ciclo hidrológico. 1: evaporación; 2: transporte en la atmósfera y condensación para formar nubes; 3: precipitación; 4: escorrentía en superficie; 5: infiltración hacia los acuíferos subterráneos; 6: escorrentía subterránea.

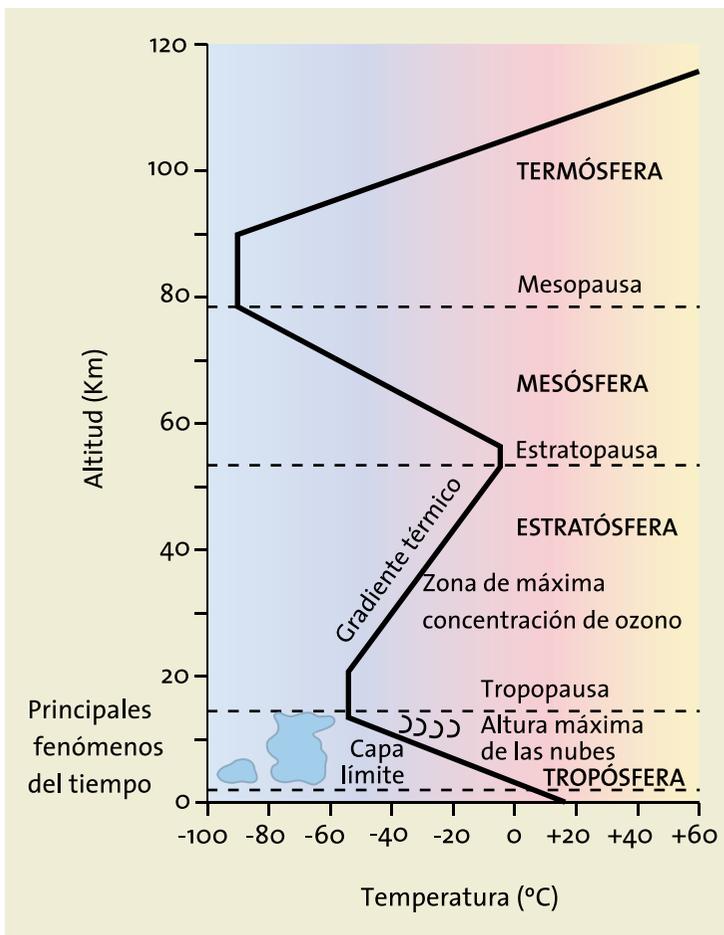
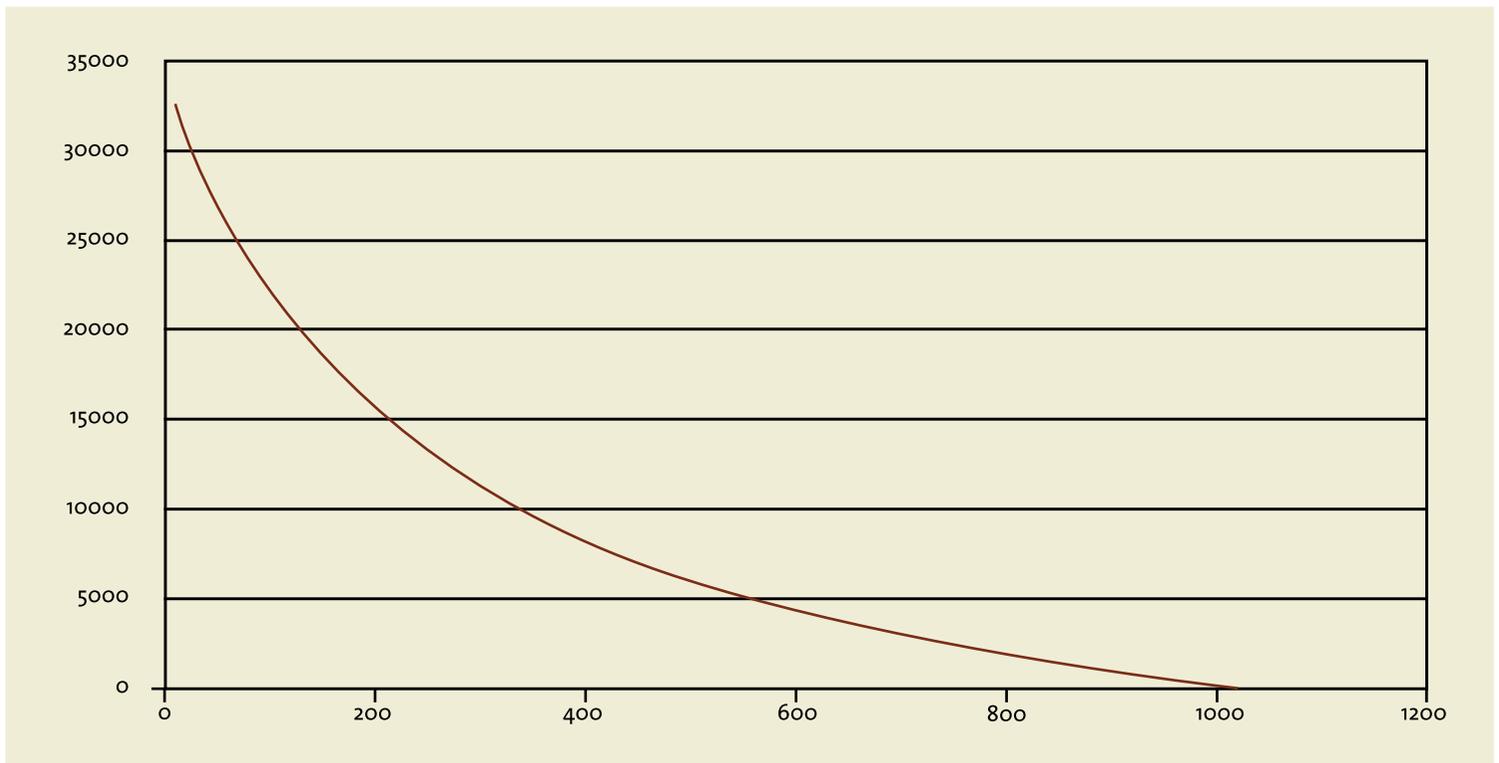


Figura 11. Capas de la atmósfera

La Figura 11 también muestra cómo varía la temperatura con la altitud. Puede verse que en la tropósfera la temperatura disminuye, para hacer una pausa y ascender en la estratósfera. En la mesósfera vuelve a disminuir, para volver a aumentar fuertemente en la termósfera. Sin embargo, en la termósfera la densidad es muy baja y el concepto de temperatura adquiere otras connotaciones que no discutiremos.

La Figura 12 muestra cómo varía la presión atmosférica, expresada en hectopascales (hPa, eje horizontal) con la altura expresada en metros (eje vertical). La presión depende por un lado de la temperatura, y por otro del número de moléculas por unidad de volumen. Este último número es proporcional a la densidad, que es la masa por unidad de volumen. Ya a nivel del mar (altura 0) esa densidad es muy inferior a la del planeta: la densidad de la corteza es del orden de 2 g/cm<sup>3</sup>, y la densidad promediada general del planeta es del orden de 5 g/cm<sup>3</sup>. La densidad de la atmósfera en superficie es del orden de 1,1×10<sup>-3</sup> g/cm<sup>3</sup>, tres órdenes de magnitud menor. La forma del gráfico corresponde aproximadamente a una disminución exponencial de la presión y la densidad con la altura.

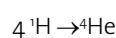
Figura 12. Variación de la presión con la altura en la atmósfera. El eje horizontal representa la presión en hPa, y el eje vertical la altura desde el nivel del mar en metros.



## EL SOL

El Sol tiene un diámetro algo más de 100 veces mayor que la Tierra, y una masa más de 300.000 veces mayor. Se encuentra a 1,5×10<sup>8</sup> km de la Tierra. Su temperatura en el centro es del orden de 1,4×10<sup>7</sup> K, y en la superficie es de 5,8×10<sup>3</sup> K.

El Sol es un gigantesco reactor nuclear de *fusión*. El proceso de fusión libera la energía generada en la fusión de núcleos de átomos de hidrógeno para formar helio:



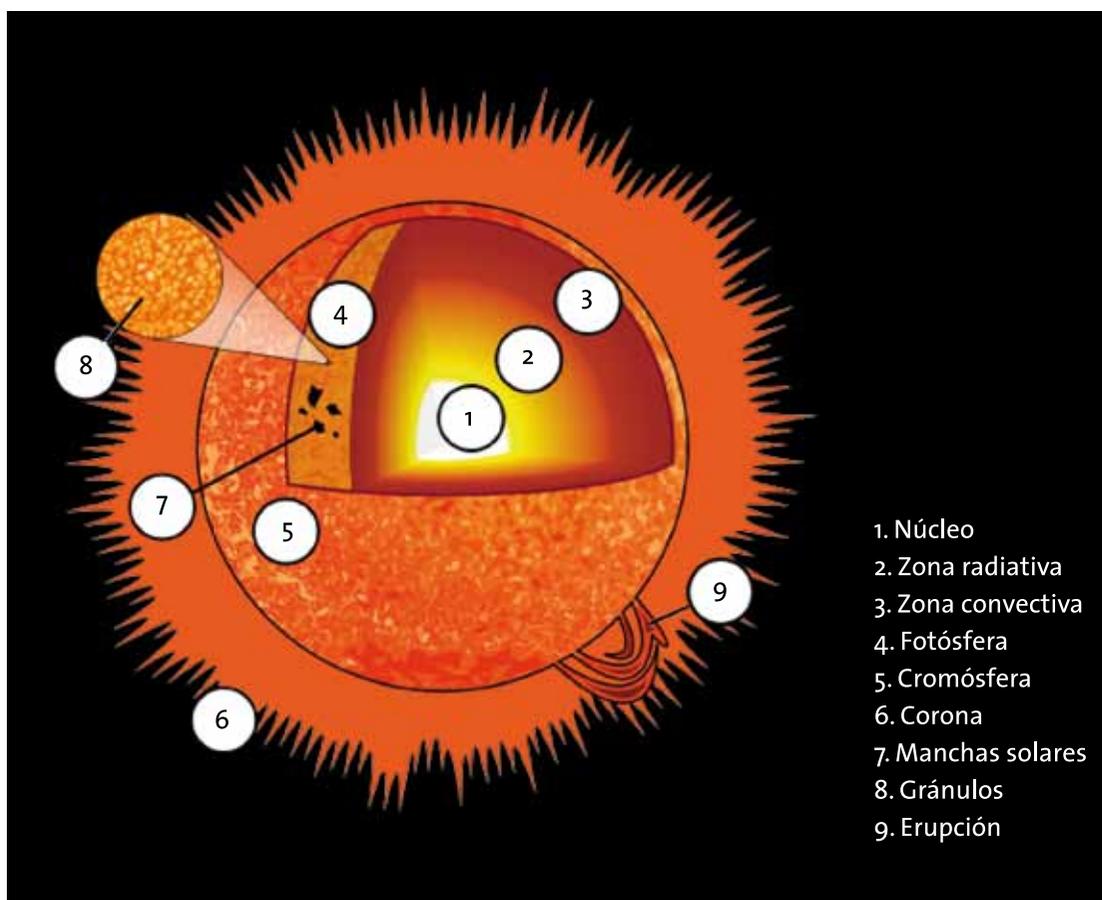


Figura 13. Esquema de la estructura del Sol.

Por comparación, las centrales nucleoelectricas construidas por el hombre, como Atucha y Embalse, generan energía por *fisión*. Los reactores de fisión aprovechan la energía liberada en la ruptura del núcleo de  $^{235}\text{U}$  y otros elementos pesados, inducidos por bombardeo con neutrones. En el proceso se forman átomos radiactivos, que emiten radiación  $\gamma$  (ver §7). Este es el origen de la energía geotérmica, que contribuye desde el interior a mantener naturalmente caliente la superficie de la Tierra. El intento de generar energía por fusión en nuestro planeta hasta ahora solo ha alcanzado modestísimos logros (mantener la reacción durante una fracción de segundo).

El Sol procesa del orden de  $6,2 \times 10^{14}$  g de hidrógeno por segundo (62.000.000 toneladas por segundo). Del orden del 7 por mil de ese valor se liberan en forma de energía radiante,  $3,8 \times 10^{26}$  W, aprovechando la equivalencia entre masa y energía, según la famosa ecuación de Einstein (c es la velocidad de la luz):

$$E = mc^2$$

Este valor de energía es casi  $10^{14}$  veces mayor que la energía liberada desde el interior de Tierra por fisión. La energía es emitida desde el interior del Sol en forma de fotones de alta energía. En su recorrido a través del Sol, esos fotones son absorbidos y reemitidos muchas veces y en cada paso la energía de cada fotón liberado va disminuyendo, de manera que la forma más característica de radiar energía al espacio exterior es como luz visible (para una discusión de la energía electromagnética ver §7).

La Figura 13 muestra un esquema del Sol.

La radiación enviada desde el Sol al espacio exterior es de  $60 \text{ MW/m}^2$  en forma de fotones de radiación electromagnética (luz visible, infrarroja, ultravioleta y otras longitudes de onda). A la superficie exterior de la atmósfera terrestre llegan entonces  $1,37 \text{ kW/m}^2$ . Este valor se conoce como *constante solar*. Si se hace un promedio de la radiación que llega perpendicularmente y en diversos ángulos, y se tiene en cuenta la zona oscura, se llega a un promedio de  $340 \text{ W/m}^2$  (de esta forma, la radiación total que entra en la atmósfera es  $1,74 \times 10^{17}$  W). En la atmósfera esa radiación de  $1,37 \text{ kW/m}^2$  es atenuada y raramente llega a la superficie más de  $1 \text{ kW/m}^2$ . Este valor además disminuye a medida que varía la inclinación del Sol, y por supuesto, es nulo de noche. Una amplia región de la Argentina, que abarca las provincias de Cuyo y del NOA, recibe niveles altos de radiación solar. Allí, la nubosidad es muy baja, lo que aumenta las horas efectivas de recepción de radiación solar directa. Además, la altura conduce a niveles de radiación más altos. Se ha calculado (Haim, 2013) que es posible extraer del orden de  $5,6 \text{ kWh}$  de energía por metro cuadrado y por día, lo que equivale a una potencia promedio de  $0,23 \text{ kW/m}^2$ . La potencia que podría extraerse de un cuadrado de  $11,4 \times 11,4 \text{ km}$  en la Puna alcanzaría para duplicar la potencia eléctrica instalada en la Argentina, que en diciembre de 2013 era de  $3,14 \times 10^7 \text{ kW}$  (Subgerencia de Planificación Estratégica de la CNEA, diciembre de 2013).

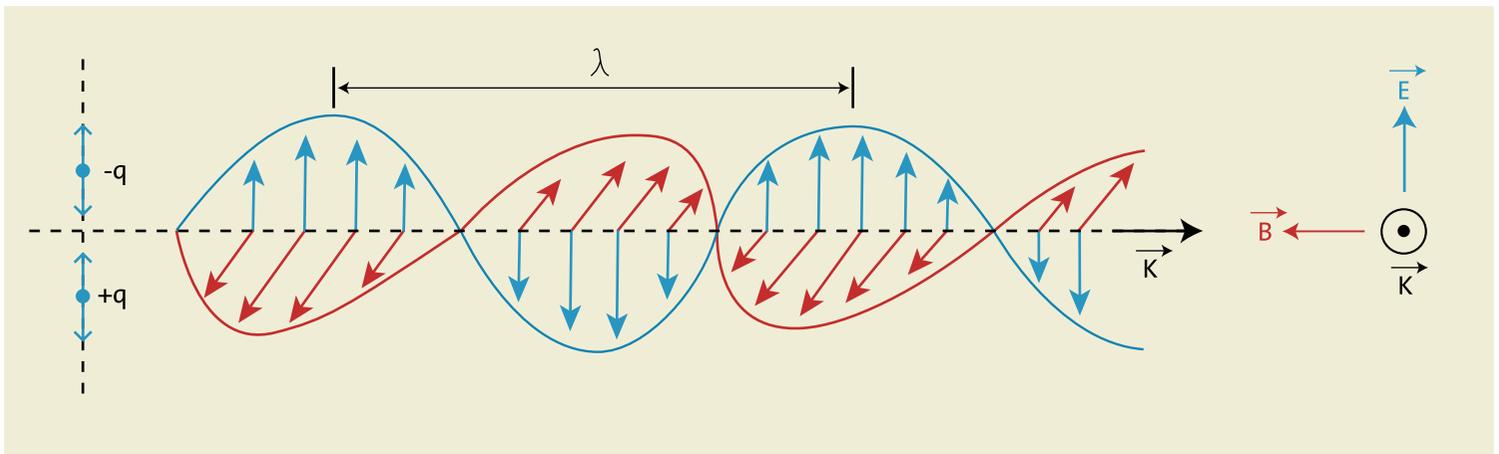


Figura 14. Radiación electromagnética.

### RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Tanto en el Sol como en el interior de la Tierra, los fenómenos nucleares generan energía en forma de rayos  $\gamma$ . Estos rayos son una forma de radiación electromagnética de muy pequeña longitud de onda.

La radiación electromagnética puede describirse como una perturbación que se propaga en el espacio, caracterizada por un vector eléctrico  $E$  y uno magnético  $B$ , como se muestra en la Figura 14.

Una magnitud fundamental para caracterizar a la radiación electromagnética es la longitud de onda  $\lambda$  (medida en cm) o, lo que es equivalente, su frecuencia  $\nu$  (medida en  $s^{-1}$ ). Ambas magnitudes son inversamente proporcionales; la constante de proporcionalidad es la velocidad de la luz (medida en cm/s):

$$\nu = c/\lambda$$

El espectro electromagnético es el conjunto de radiaciones cuyas longitudes de onda van desde menos de  $10^{-13}$  cm hasta más de 1 km. La Figura 15 muestra el espectro electromagnético.

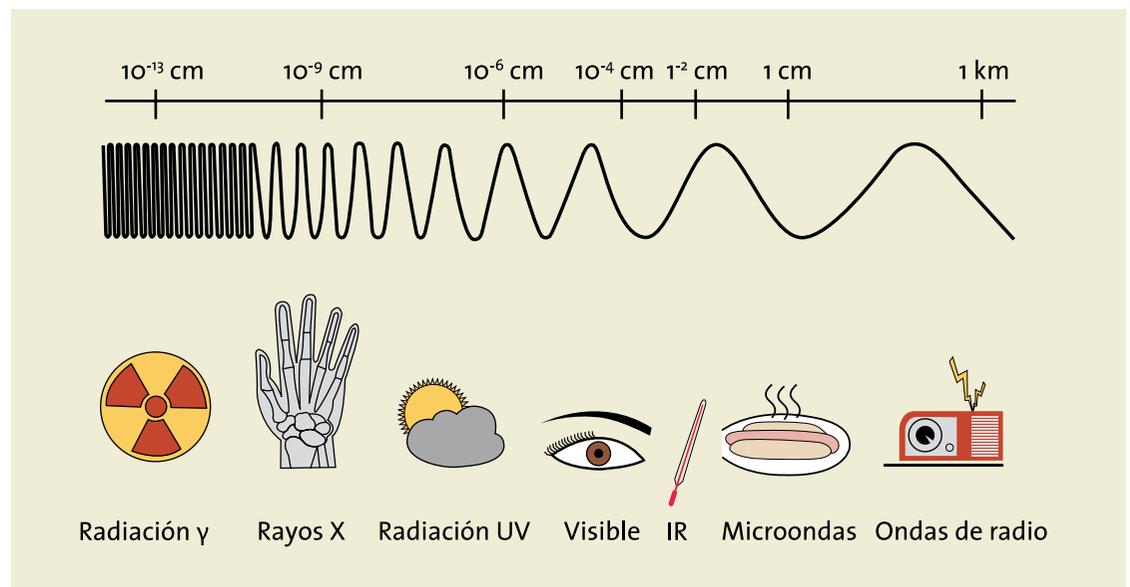
Si bien la radiación electromagnética es una onda que se propaga, también tiene características de partículas. Esas partículas son los fotones, y es posible ver a la energía electromagnética como paquetes de fotones que viajan. La energía  $E$  de un fotón es proporcional a la frecuencia (o inversamente proporcional a la longitud de onda); la constante de proporcionalidad es la constante de Planck,  $h = 6,63 \times 10^{-34}$  J s:

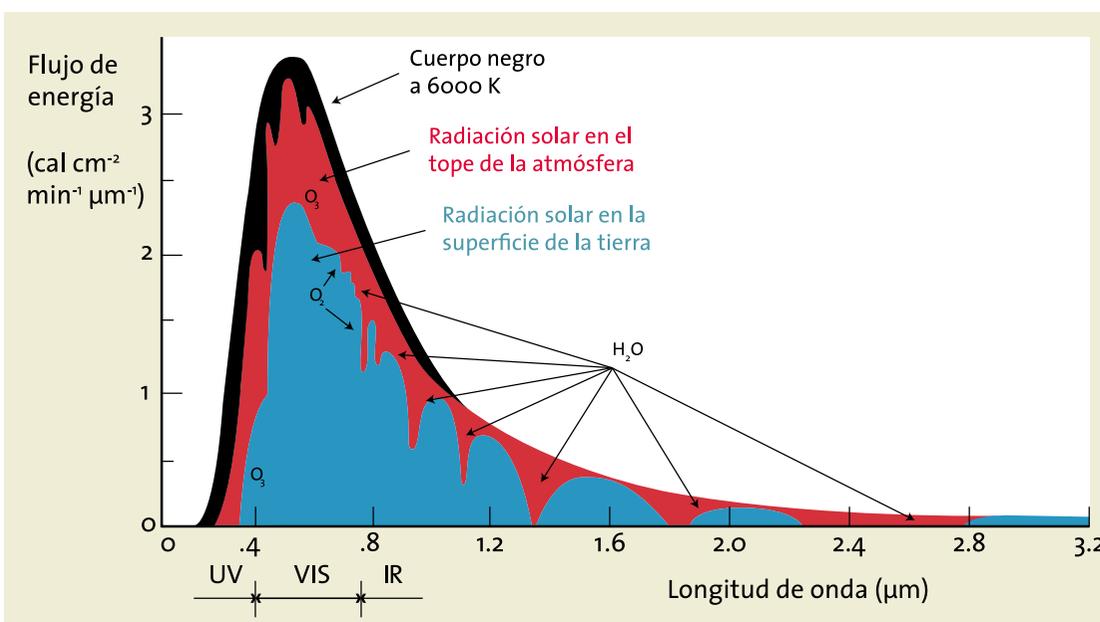
$$E = h\nu = hc/\lambda$$

La energía total de un haz de radiación depende pues del número de fotones (Intensidad) y de la longitud de onda.

Dijimos que en el interior del Sol se producían fotones de muy alta energía que se van absorbiendo y re-emitiendo, hasta que emergían del Sol muy enriquecidos en luz visible. También la atmósfera actúa como filtro de la radiación de alta energía, como veremos más adelante.

Figura 15. El espectro electromagnético.





**Figura 16.** Cantidad de energía que llega de cada longitud de onda por metro cuadrado (irradiancia espectral, en calorías por minuto por centímetro cuadrado para cada longitud de onda). En rojo, lo que llega a la parte superior de la atmósfera; en celeste, lo que llega a la superficie terrestre. La diferencia corresponde a lo que se absorbe en la atmósfera, por el ozono en el ultravioleta, y por el agua (y en menor medida otros gases efecto invernadero) de la tropósfera en el infrarrojo. La curva en negro corresponde a un modelo físico, la energía irradiada por un cuerpo ("cuerpo negro") calentado a  $5727^\circ\text{C}$ , o  $5600\text{K}$  (ver sección 9)

La Figura 16 muestra el espectro solar, es decir, la importancia relativa de la radiación de distintas longitudes de onda que llega a la atmósfera (en amarillo) y a la superficie terrestre (en rojo). Puede apreciarse que la región de menor longitud de onda, las llamadas radiación UV-C y UV-B son filtradas efectivamente por la atmósfera, y a la superficie terrestre solo llega la fracción llamada UV-A del ultravioleta, que es la de menor energía.

## BALANCE ENERGÉTICO EN LA TIERRA

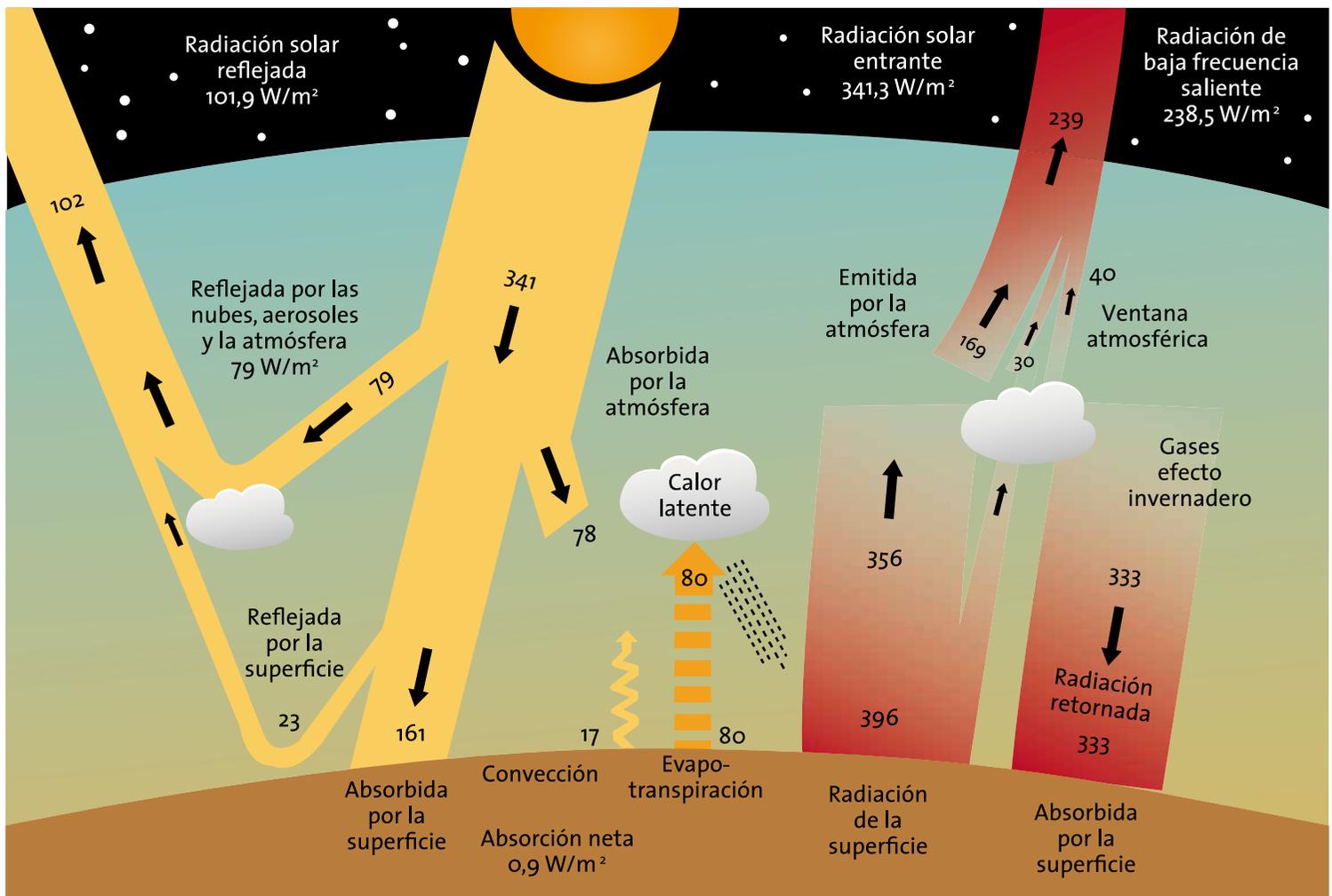
En total, la potencia que entra en la atmósfera es prácticamente idéntica a la que llega desde el Sol,  $1,74 \times 10^{17} \text{ W}$ . La energía que viene del interior es menos del 0,3 por mil de ese valor. Por supuesto, en superficie, la contribución de la energía geotérmica es mayor.

Para mantener el balance, la Tierra debe reemitir al espacio  $1,74 \times 10^{17} \text{ W}$ . La Figura 17 muestra las formas de devolución de la energía al espacio. El 30% es reflejada (se dice que el *albedo* de la Tierra es 0,3). El resto es absorbido para ser reemitido después; en el proceso, cambia la longitud de onda. Como se dijo, la radiación que llega tiene un importante componente de radiación visible, mientras que la radiación reemitida es puramente radiación infrarroja, de mayor longitud de onda.

En este balance energético juegan un papel fundamental las llamadas *sustancias de efecto invernadero*: el agua, el dióxido de carbono, el metano y otros gases menores. Las moléculas de estas sustancias, presentes en la atmósfera, pueden absorber radiación infrarroja. Por ejemplo, en la Figura 16 se ve claramente cómo el agua filtra algunas porciones de la radiación infrarroja que llega del Sol. A la inversa, la radiación infrarroja que es devuelta por la superficie hacia la atmósfera también puede ser absorbida por estas sustancias. De allí que el 15% de esa radiación no escape de la atmósfera (ver Figura 17). Si aumenta la cantidad de gases efecto invernadero, aumenta la cantidad de radiación que no puede escapar y, en la jerga de la meteorología, aumenta el *forzante radiativo* (**radiative forcing**, en inglés), que es la diferencia entre la energía que entra y la que sale de la atmósfera. Ese pequeño desbalance es fundamental para generar fenómenos meteorológicos extremos, tales como tormentas muy fuertes, sequías, inundaciones, etc. En la actualidad no hay dudas de que esta acción antrópica está influyendo en el llamado *Cambio Climático Global*.

No solo los gases que absorben radiación infrarroja afectan el balance energético de la atmósfera. También juegan un papel importante otros fenómenos:

- El *albedo*, que mide la capacidad de reflejar la luz. El albedo está muy influido por la reflexión de luz, por los mares y también por las nubes.
- El *material particulado* suspendido en la atmósfera. Las partículas no absorben la radiación, pero la *dispersan*, cambiando su dirección. Con ello, el camino que atraviesa la luz se vuelve mucho más tortuoso y, eventualmente, puede ser absorbida mejor.
- Los cambios en la irradiancia del Sol.



**Figura 17.** Balance energético de la Tierra. Adviértase que los flujos de energía están indicados en vatios por metro cuadrado.

## LA BIÓSFERA

Puede visualizarse entonces a nuestro planeta como una gran máquina que se alimenta de luz esencialmente visible, la usa para mover el ciclo hidrológico y para producir biomasa, y devuelve la radiación menos útil, que es de mayor longitud de onda, en forma de radiación infrarroja. La Figura 18, tomada de Cicerone y col. (2006) muestra a la energía solar como la fuerza impulsora de la generación de biomasa y de sus transformaciones y al calor como el sumidero de parte de la energía, la que no queda almacenada en la biomasa.

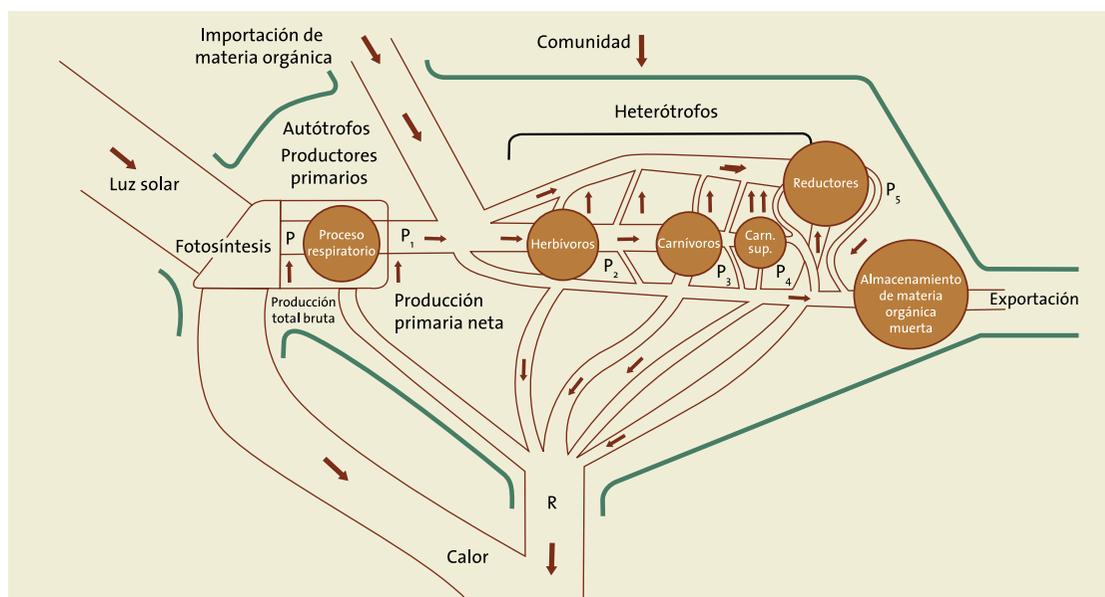
## LA LEY DE CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA

El balance energético del planeta que se muestra en la Figura 17 se basa en una suposición fundamental: *la conservación de la energía*. Efectivamente, en Física existe la ley de conservación de la energía, que simplemente dice que la energía no se crea ni se destruye, sino que se transforma de un tipo a otro. ¿Cuáles son los tipos de energía? Por ejemplo, si queremos bombear agua a un tanque, usando un bombeador eléctrico, transformamos energía eléctrica en energía potencial del agua. Cuando en una central hidroeléctrica turbinamos agua, haciendo pasar agua que va cayendo por turbinas, transformamos la energía potencial del agua en energía eléctrica. Cuando calentamos la casa con un calefactor eléctrico, transformamos energía eléctrica en calor; si la estufa es a gas, transformamos energía química en calor. En las usinas nucleoeeléctricas transformamos energía nuclear en energía eléctrica. En general, en estos procesos de conversión de energía, por lo menos una parte, si no la totalidad, se transforma en calor que se disipa al ambiente.

Pero, si la energía no se consume, ¿qué quiere decir nuestro “consumo” de electricidad o de gas? Toda la energía que consumimos se transforma en calor, que se disipa. El calor es una forma especial de energía, menos útil que las otras (desde el punto de vista de su uso para realizar trabajo), y por eso la transformación de otras formas de energía en calor implica una degradación de su utilidad. Precisamente uno de los problemas que tenemos en esta época es que toda la energía que usamos termina en forma de calor en la atmósfera, y los meteorólogos dicen que la atmósfera queda con energía suficiente como para generar fenómenos extremos como tormentas, huracanes, etc.

Podemos precisar ahora qué es *la temperatura*. La temperatura de los cuerpos es la magnitud que define la dirección en la cual el calor fluye de uno a otro: siempre lo hace desde el cuerpo de mayor temperatura al de menor temperatura. Podemos hacer una analogía con el flujo de agua en un río: el agua siem-

pre se mueve desde lo más alto hacia lo más bajo. Para el calor, la temperatura toma el papel de la altura. Nuestra escala común de medición de temperatura es la escala Celsius, que fija un valor de temperatura de 0 °C para el hielo en equilibrio con agua líquida y de 100 °C para el agua líquida en equilibrio con su vapor (agua hirviendo). En ciencia, la temperatura se mide en términos absolutos, en *kelvins*. En esta escala, la temperatura del hielo en equilibrio con agua líquida es 273 K, y la del agua líquida en equilibrio con su vapor es 373 K. Se ve pues que sumando 273 a la temperatura en grados Celsius se obtiene la temperatura absoluta en kelvins. El cero en la escala absoluta (equivalente a -273 °C) es la temperatura más baja que puede existir. En EE.UU. se usa aun otra escala, la de Fahrenheit.



**Figura 18.** Síntesis y transformación de la biomasa, impulsada por la energía solar (tomado de Cicerone y col. 2006).

## CONCLUSIONES

Visto desde el espacio, nuestro planeta es un esferoide que recibe radiación visible del Sol y devuelve al espacio radiación infrarroja. La transformación de dicha radiación alimenta los ciclos que caracterizan el movimiento de la materia en el planeta, en particular el ciclo hidrológico. La actividad biológica se basa en la absorción de fotones visibles de la luz solar para la fotosíntesis, y esa energía es devuelta en forma de calor (radiación infrarroja) en la degradación de la biomasa. También contribuye al funcionamiento de la máquina que es la superficie del planeta la energía proveniente del interior.

En definitiva, nos alimentamos de energía nuclear: la proveniente del Sol, originada en el fenómeno de fisión nuclear, y la proveniente de las entrañas del planeta, originada en el fenómeno de fusión nuclear.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Blesa M.A., Cicerone D.S.: (2014) *La Química y la Física para la Gestión Ambiental*. Inédito.
2. Blesa M.A., dos Santos Afonso M., Apella M.C.: (2012) *Agua y Ambiente. Un enfoque desde la Química*, EUDEBA, ISBN: 9789502319575.
3. Camilloni I.: (2006) *El aire y el agua en nuestro planeta*, Colección Ciencia Joven, EUDEBA, ISBN:9502314679.
4. Cicerone D.S., Sánchez Proaño P., Reich S.: (2006) *Contaminación y Medio ambiente*, Colección Ciencia Joven, EUDEBA, ISBN:9502314891.
5. Haim, A. (2013). *Proyecciones*, 11(2), Universidad Tecnológica Nacional, pp. 55-66.
6. Iriondo, M.: (2006). *Introducción a la Geología*, Editorial Brujas, ISBN: 978-987-591-061-4.
7. Rovira M.: (2006) *El Sol*, Colección Ciencia Joven, EUDEBA, ISBN: 9789502315799.
8. Comisión Nacional de Energía Atómica: (2013) *Síntesis del Mercado Eléctrico Mayorista de la República Argentina*, elaborado por la Subgerencia de Planificación Estratégica.

*Miguel A. Blesa es profesor titular en el Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental (3iA) de la Universidad Nacional de San Martín. Fue investigador superior de la CNEA y de CONICET. Es doctor en Química (Orientación Físicoquímica y Química Nuclear) por la Universidad Nacional de La Plata. Recibió varios premios: Química 2004 del World Academy of Sciences – for the advancement of science in developing countries (TWAS), Mención al Mérito Konex en Química (2003), Premio Mercosur, Categoría Integración (2006). Es presidente de la Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias (AAPC).*

*Daniel S. Cicerone es gerente de Gestión Ambiental de la Comisión Nacional de Energía Atómica y profesor asociado del Instituto de Investigación e Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de San Martín. Es doctor en Química por la Universidad Nacional del Sur. Es el coordinador del Doctorado en Ciencia y Tecnología Mención Química de la UNSAM.*