



UNNOBA

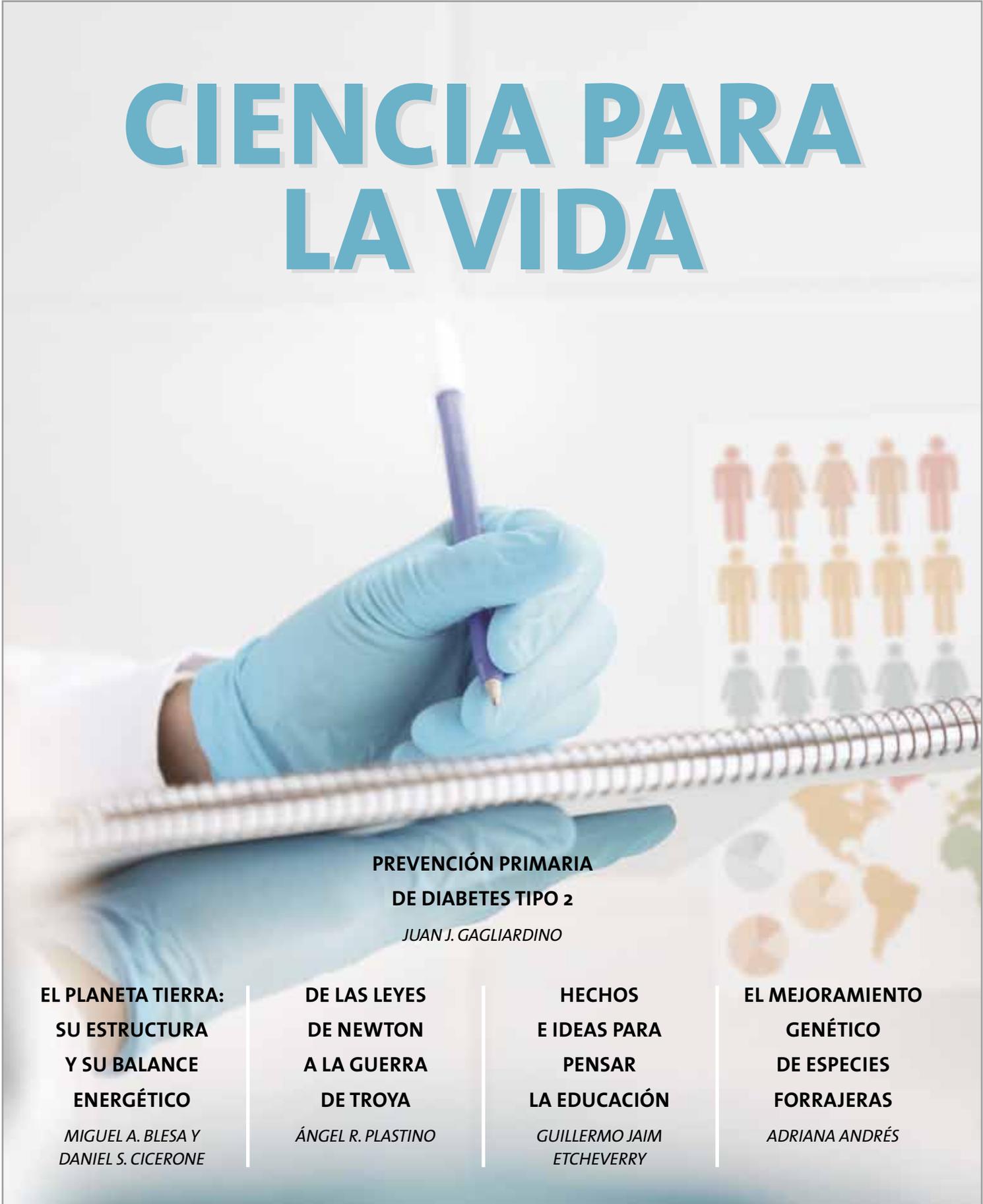
NÚCLEOS

Revista científica

NOVIEMBRE DE 2014

1

CIENCIA PARA LA VIDA



PREVENCIÓN PRIMARIA DE DIABETES TIPO 2

JUAN J. GAGLIARDINO

**EL PLANETA TIERRA:
SU ESTRUCTURA
Y SU BALANCE
ENERGÉTICO**

*MIGUEL A. BLES Y
DANIEL S. CICERONE*

**DE LAS LEYES
DE NEWTON
A LA GUERRA
DE TROYA**

ÁNGEL R. PLASTINO

**HECHOS
E IDEAS PARA
PENSAR
LA EDUCACIÓN**

*GUILLERMO JAIM
ETCHEVERRY*

**EL MEJORAMIENTO
GENÉTICO
DE ESPECIES
FORRAJERAS**

ADRIANA ANDRÉS

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)*

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.

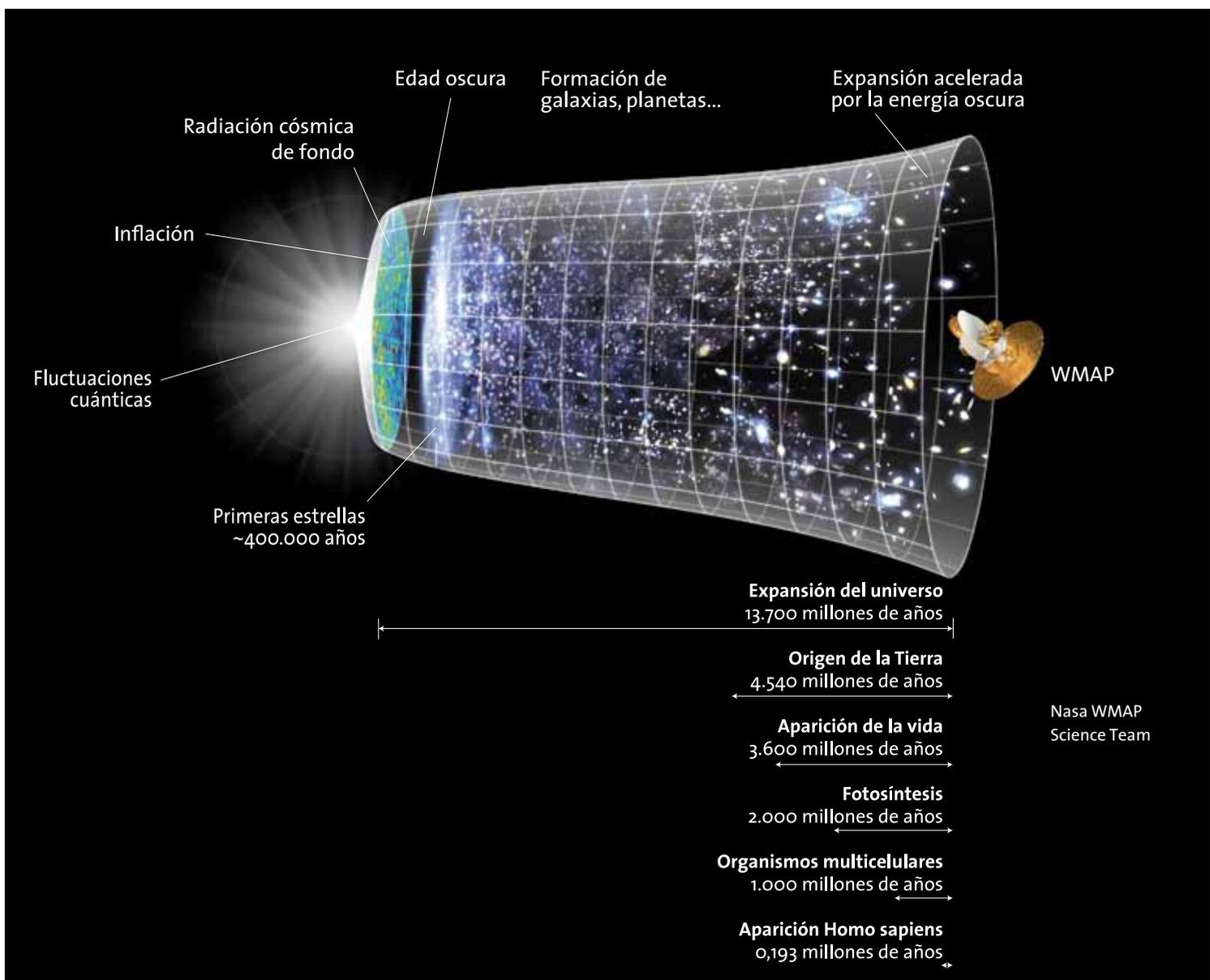
Terminamos esta exposición con palabras de Albert Einstein. Nada menos que para este genio tuvo la divulgación aspectos muy positivos. Nos dice lo siguiente: “Tuve asimismo la buena fortuna de conocer los resultados y métodos esenciales de toda la ciencia natural a través de una excelente exposición 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/>).

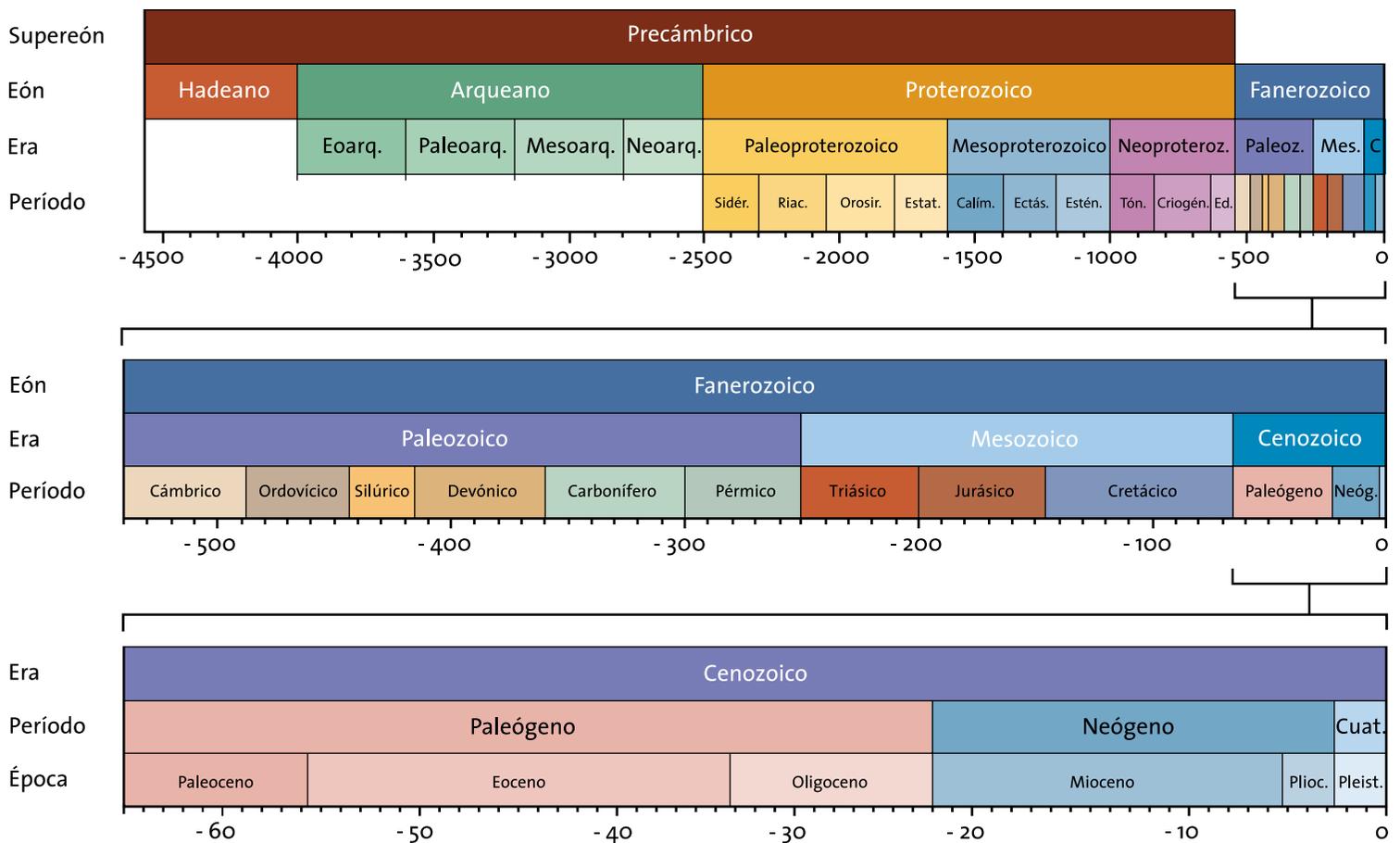
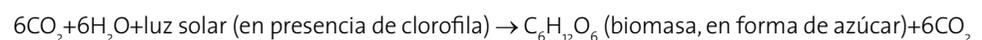


Figura 2. Eones, eras, períodos y épocas geológicas. La escala de tiempo está en millones de años (adaptada de Wikipedia).

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 (CO₂) y nitrógeno (N₂). 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* (SiO₂), *mica* (una composición típica de la mica es Na₂Al₄Si₂₀(OH)₄) y *feldespatos* (una composición típica del feldespatos es NaAlSi₃O₈). 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.

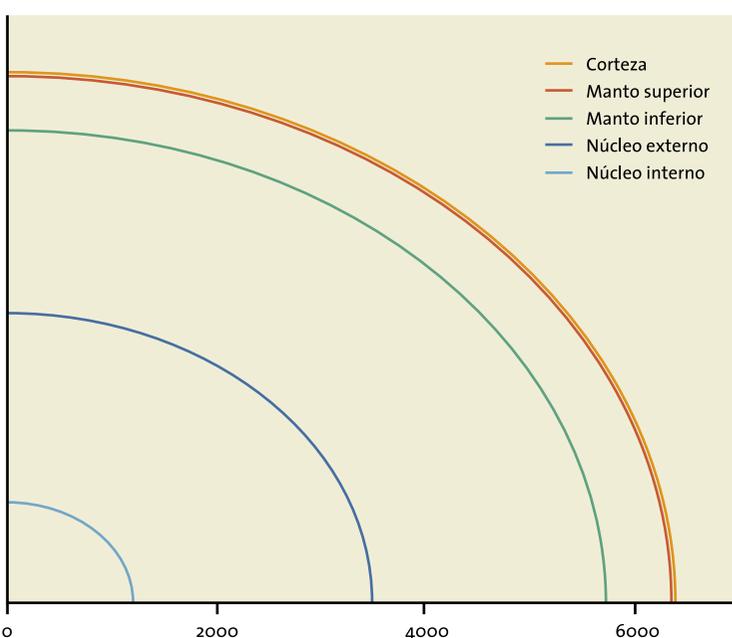
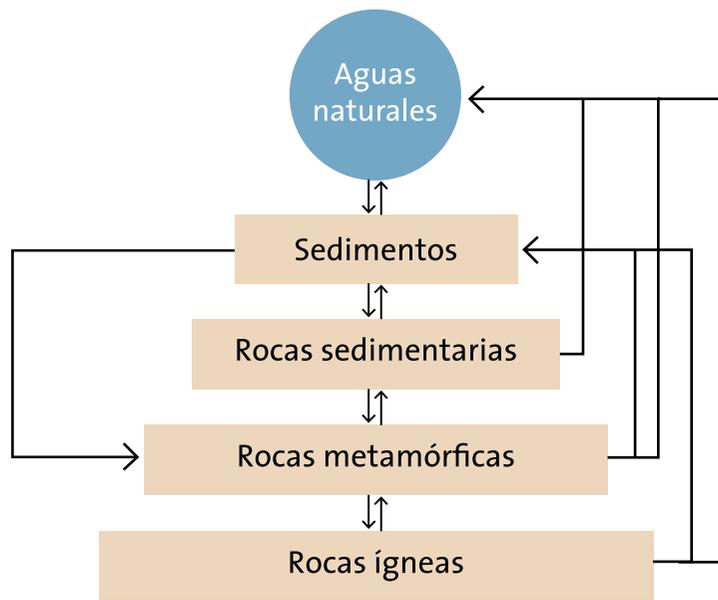


Figura 3. Corte esquemático de la Tierra. El eje horizontal muestra la distancia al centro en km. Adviértase que la corteza es una delgada capa cuyo espesor, variable entre 5 y 70 km, es despreciable en la escala de la figura.

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

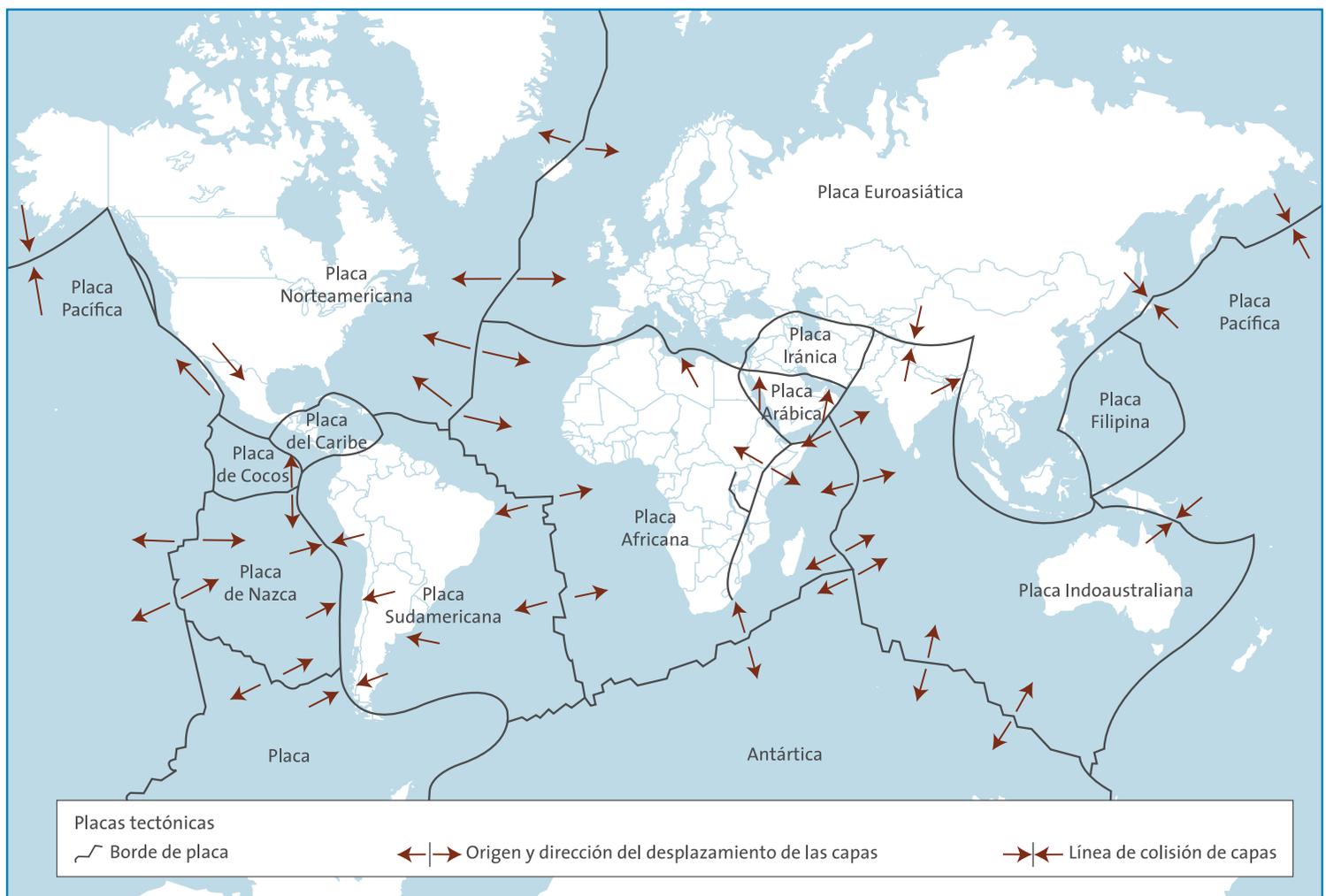
La Figura 4 muestra el gran ciclo que se establece en la corteza.



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.

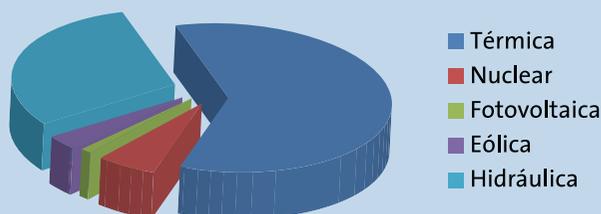


UNIDADES DE ENERGÍA

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 $1 \text{ kWh} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$.

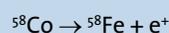
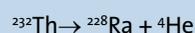
En una usina eléctrica, su tamaño se pide por su potencia, es decir, por la cantidad de energía que puede producir por unidad de tiempo. En la Argentina, la potencia total instalada del parque de producción eléctrica en diciembre de 2013 era de 31.401,9 MW (1 MW = 10⁶ W). La Figura muestra la contribución 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 γ , 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 $1,5 \times 10^{12}$ joule/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.

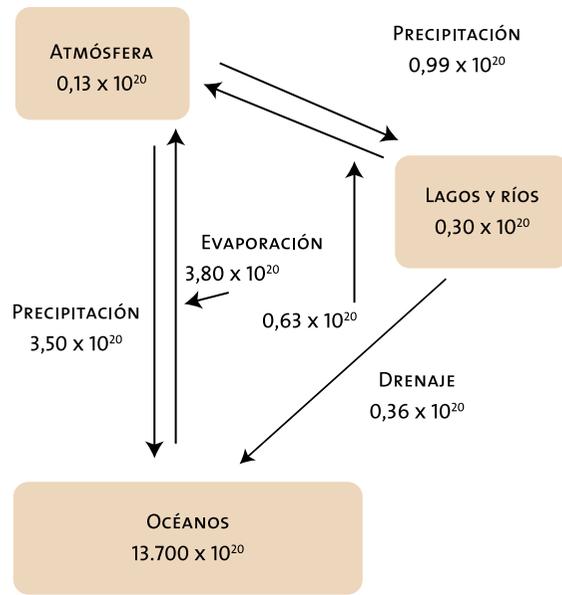
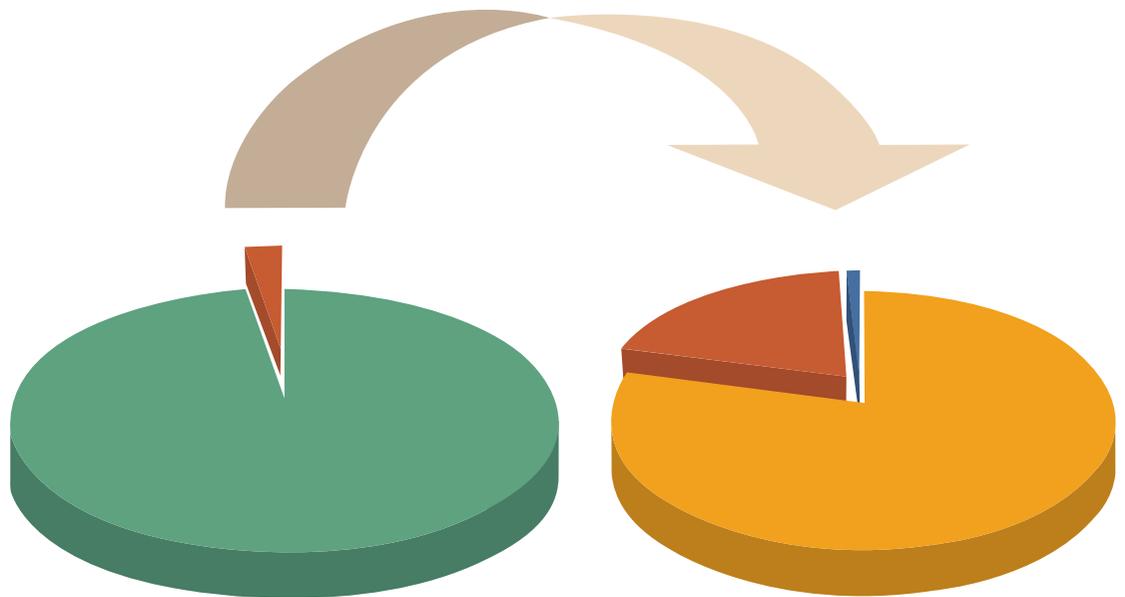


Figura 7. Reservorios y flujos del ciclo hidrológico. Los inventarios de los reservorios están en gramos y los flujos entre reservorios en gramos por año.

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/m², 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.

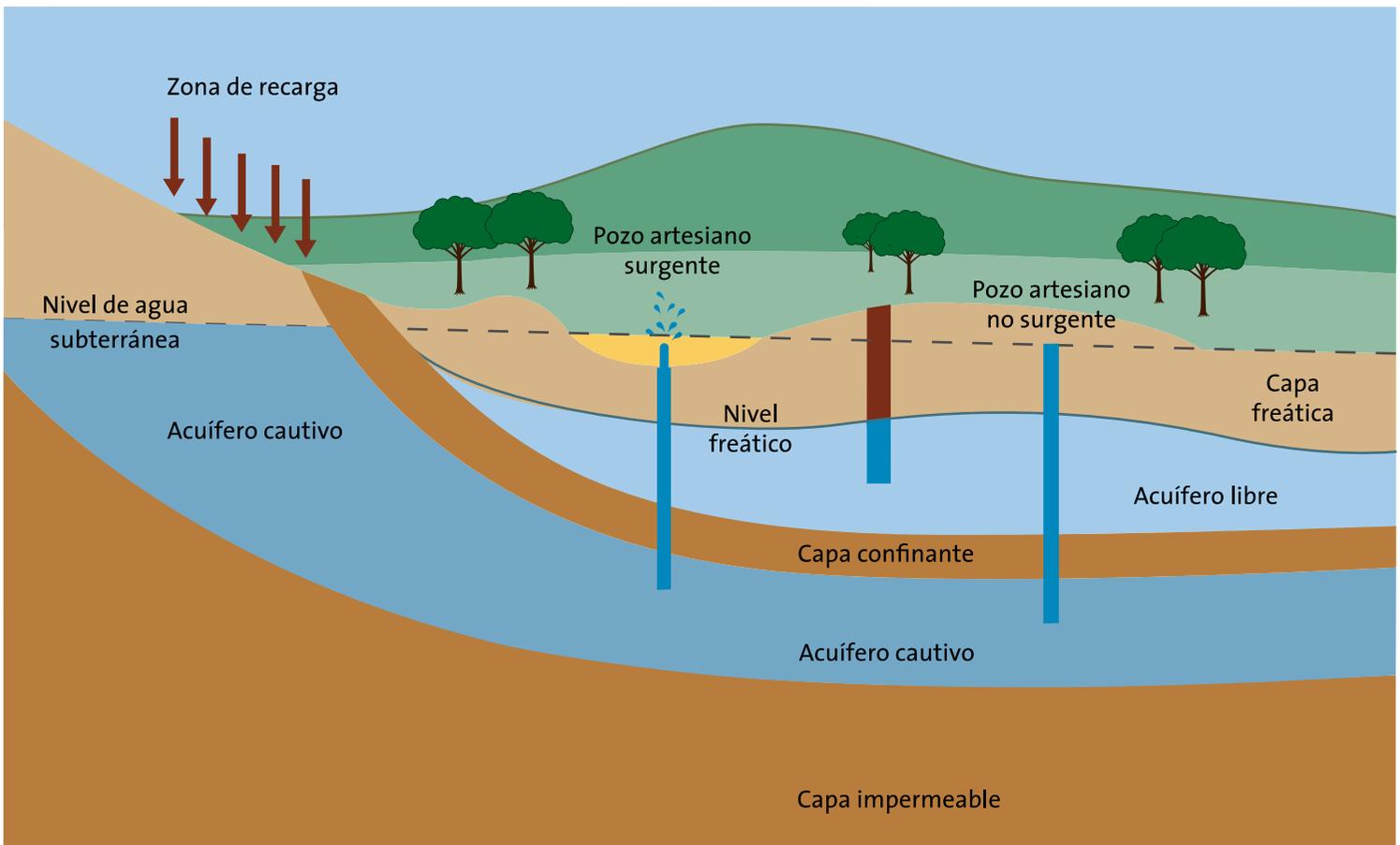
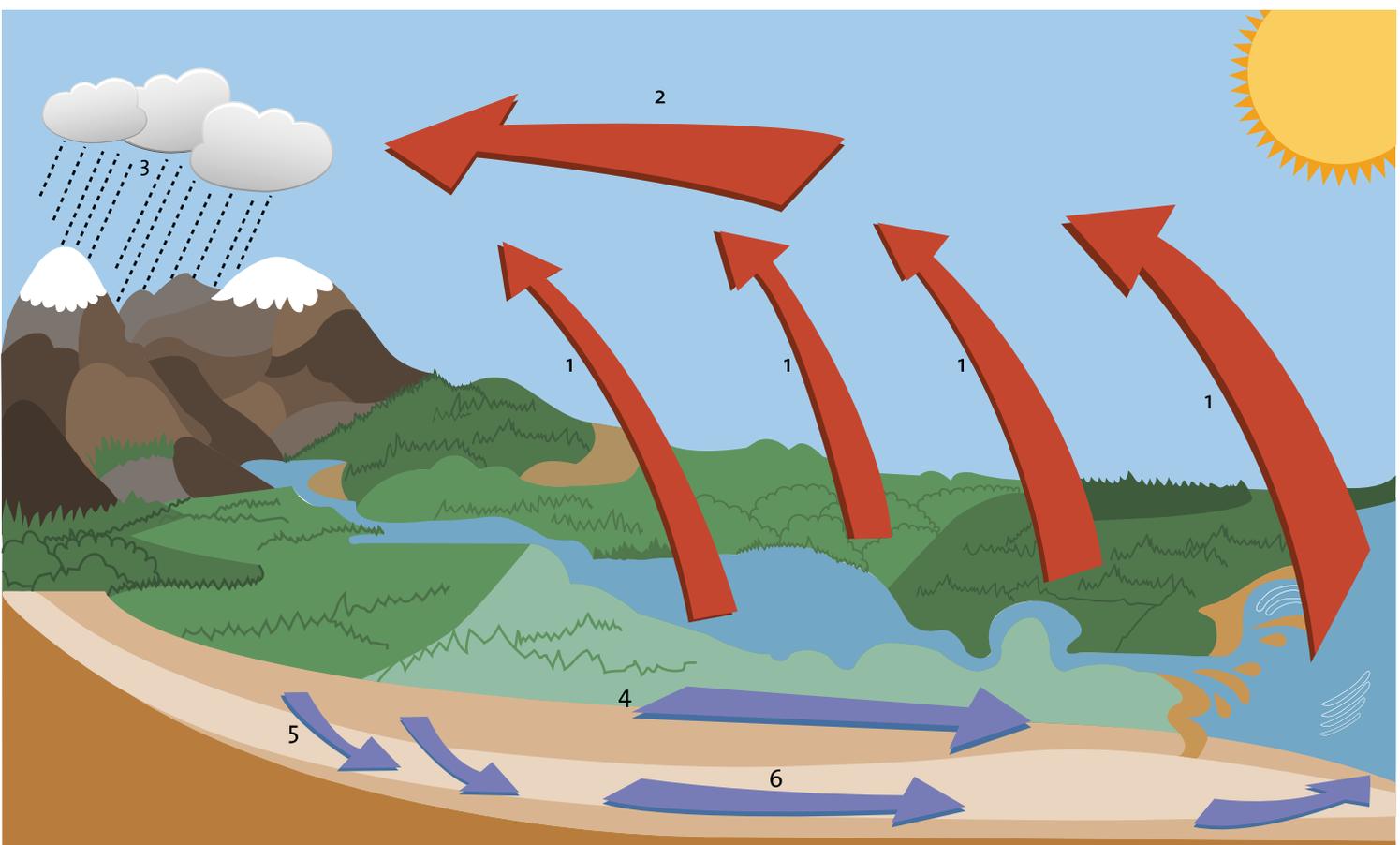


Figura 9. Aguas subterráneas



LA ATMÓSFERA

La masa total de la atmósfera es 5×10^{18} kg. De esta masa, 75% se concentra en los primeros 10 km (tropósfera). La Figura 11 muestra las distintas regiones de la atmósfera. Adviértase 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.

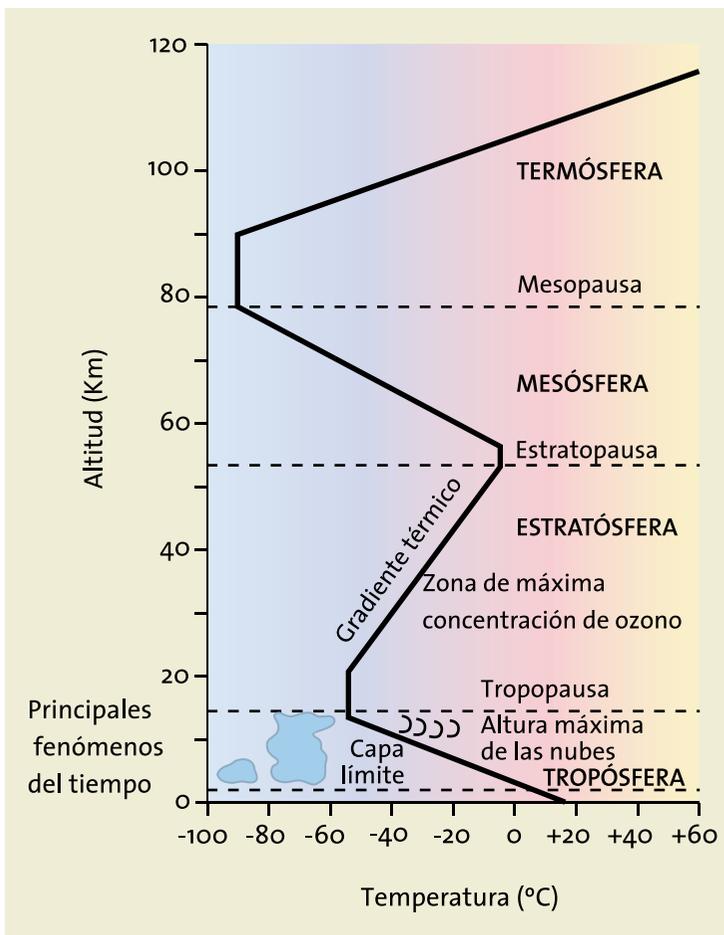
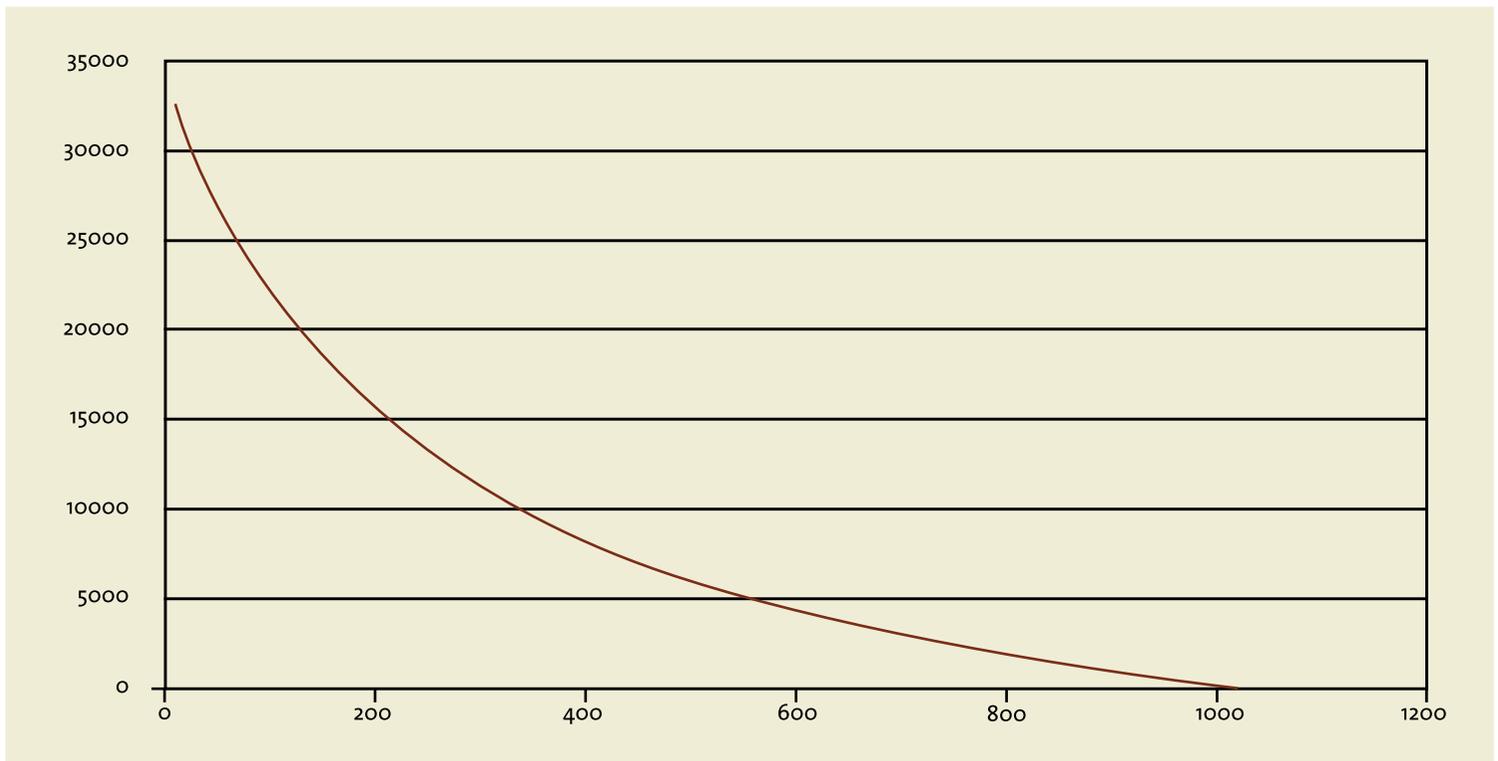


Figura 11. Capas de la atmósfera

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/cm³, y la densidad promediada general del planeta es del orden de 5 g/cm³. La densidad de la atmósfera en superficie es del orden de 1,1×10⁻³ g/cm³, tres órdenes de magnitud menor. La forma del gráfico corresponde aproximadamente a una disminución exponencial de la presión y la densidad con la altura.

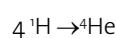
Figura 12. Variación de la presión con la altura en la atmósfera. El eje horizontal representa la presión en hPa, y el eje vertical la altura desde el nivel del mar en metros.

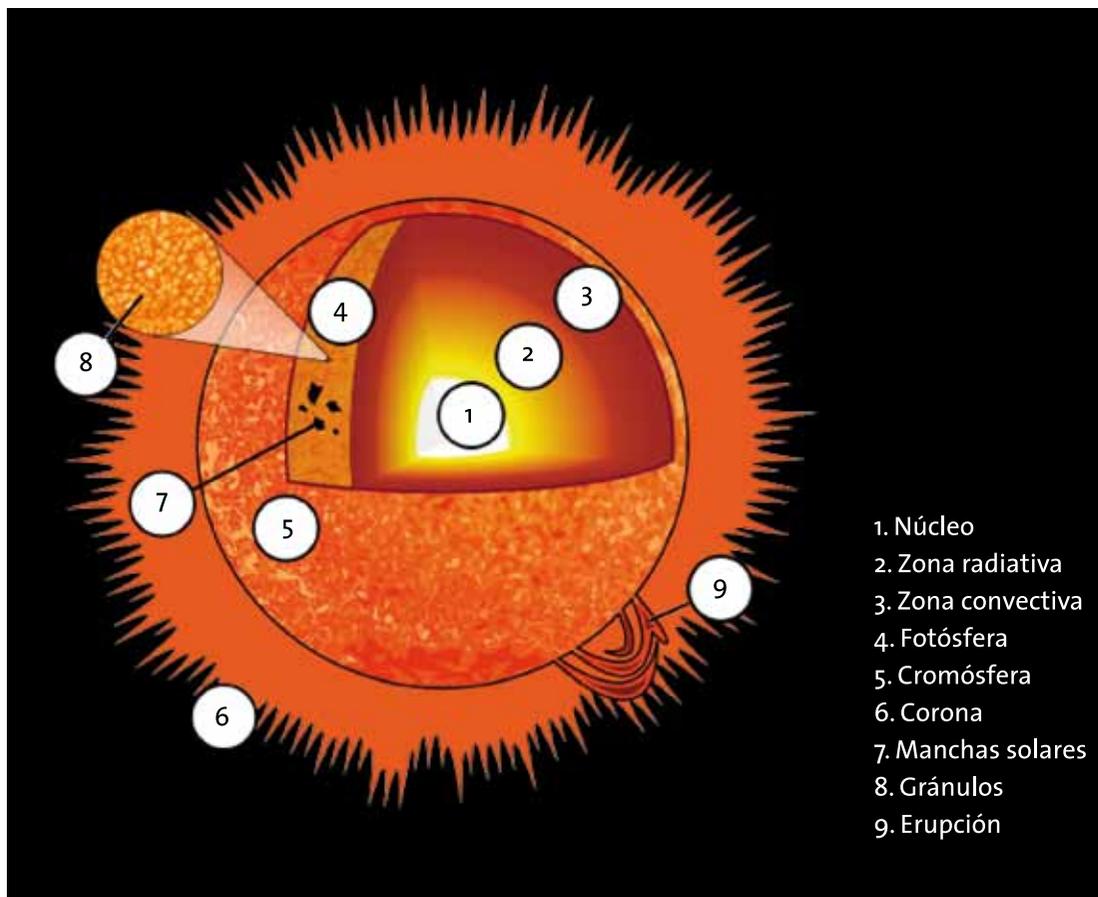


EL SOL

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 1,5×10⁸ km de la Tierra. Su temperatura en el centro es del orden de 1,4×10⁷ K, y en la superficie es de 5,8×10³ 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:





1. Núcleo
2. Zona radiativa
3. Zona convectiva
4. Fotósfera
5. Cromósfera
6. Corona
7. Manchas solares
8. Gránulos
9. Erupción

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}U y otros elementos pesados, inducidos por bombardeo con neutrones. En el proceso se forman átomos radiactivos, que emiten radiación γ (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 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 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 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).

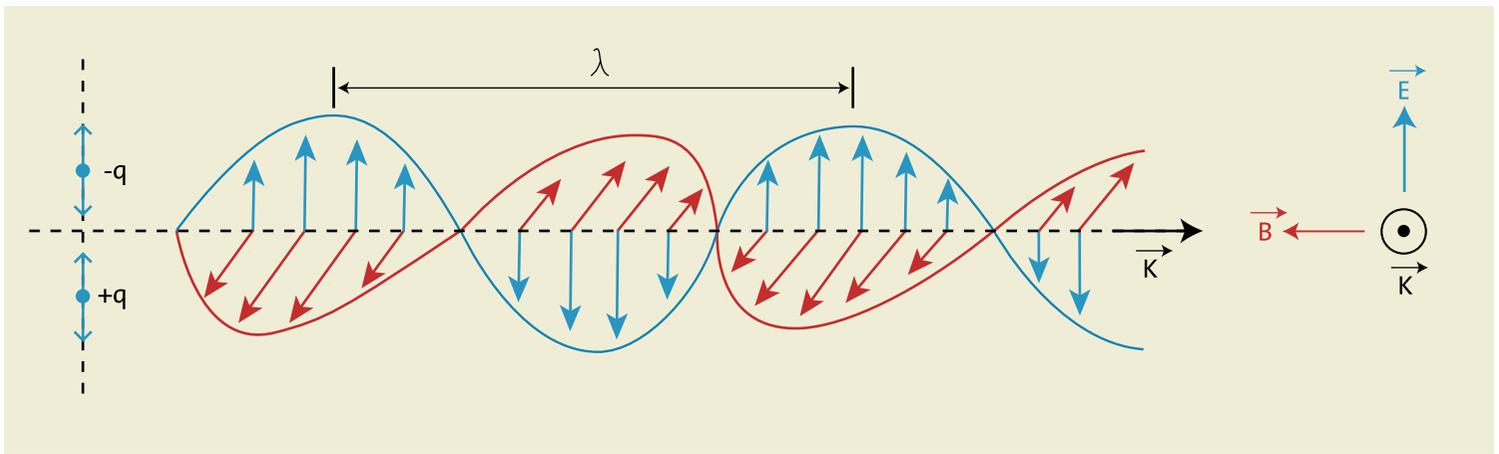


Figura 14. Radiación electromagnética.

RADIACIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Tanto en el Sol como en el interior de la Tierra, los fenómenos nucleares generan energía en forma de rayos γ . 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 λ (medida en cm) o, lo que es equivalente, su frecuencia ν (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.

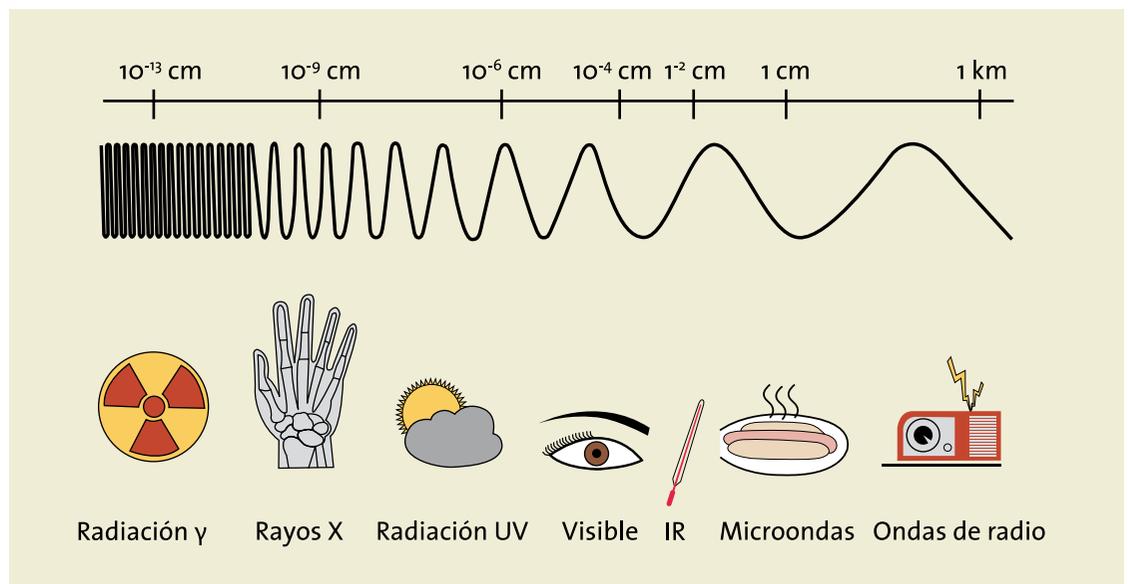
Si bien la radiación electromagnética es una onda que se propaga, también tiene características de partículas. Esas partículas son los fotones, y es posible ver a la energía electromagnética como paquetes de fotones que viajan. La energía E de un fotón es proporcional a la frecuencia (o inversamente 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.



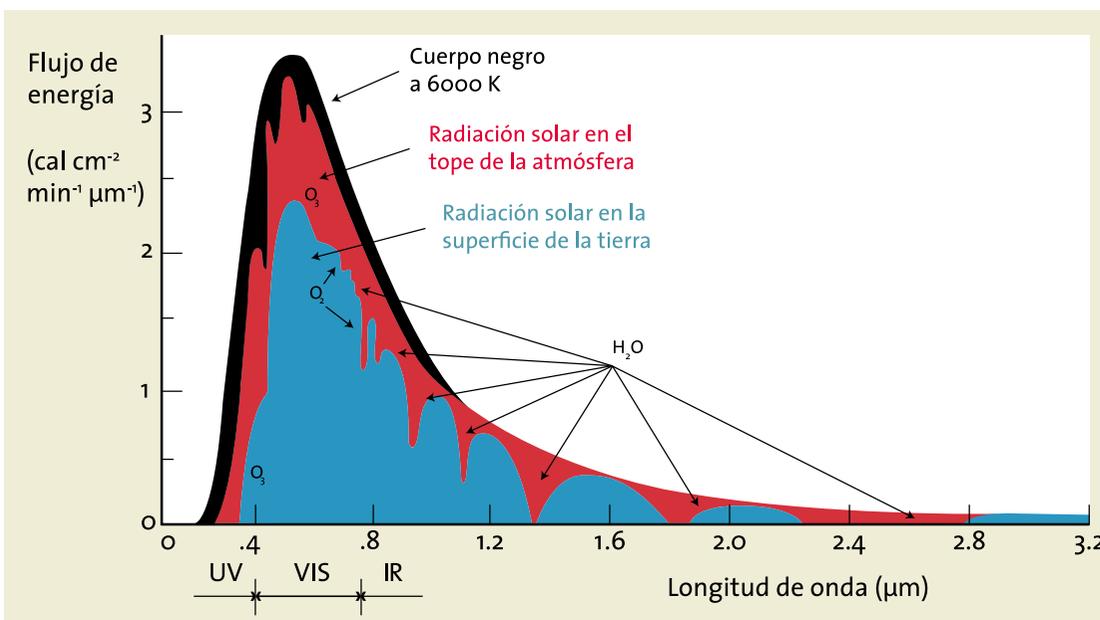


Figura 16. Cantidad de energía que llega de cada longitud de onda por metro cuadrado (irradiancia espectral, en calorías por minuto por centímetro cuadrado para cada longitud de onda). En rojo, lo que llega a la parte superior de la atmósfera; en celeste, lo que llega a la superficie terrestre. La diferencia 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°C , o 5600K (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.

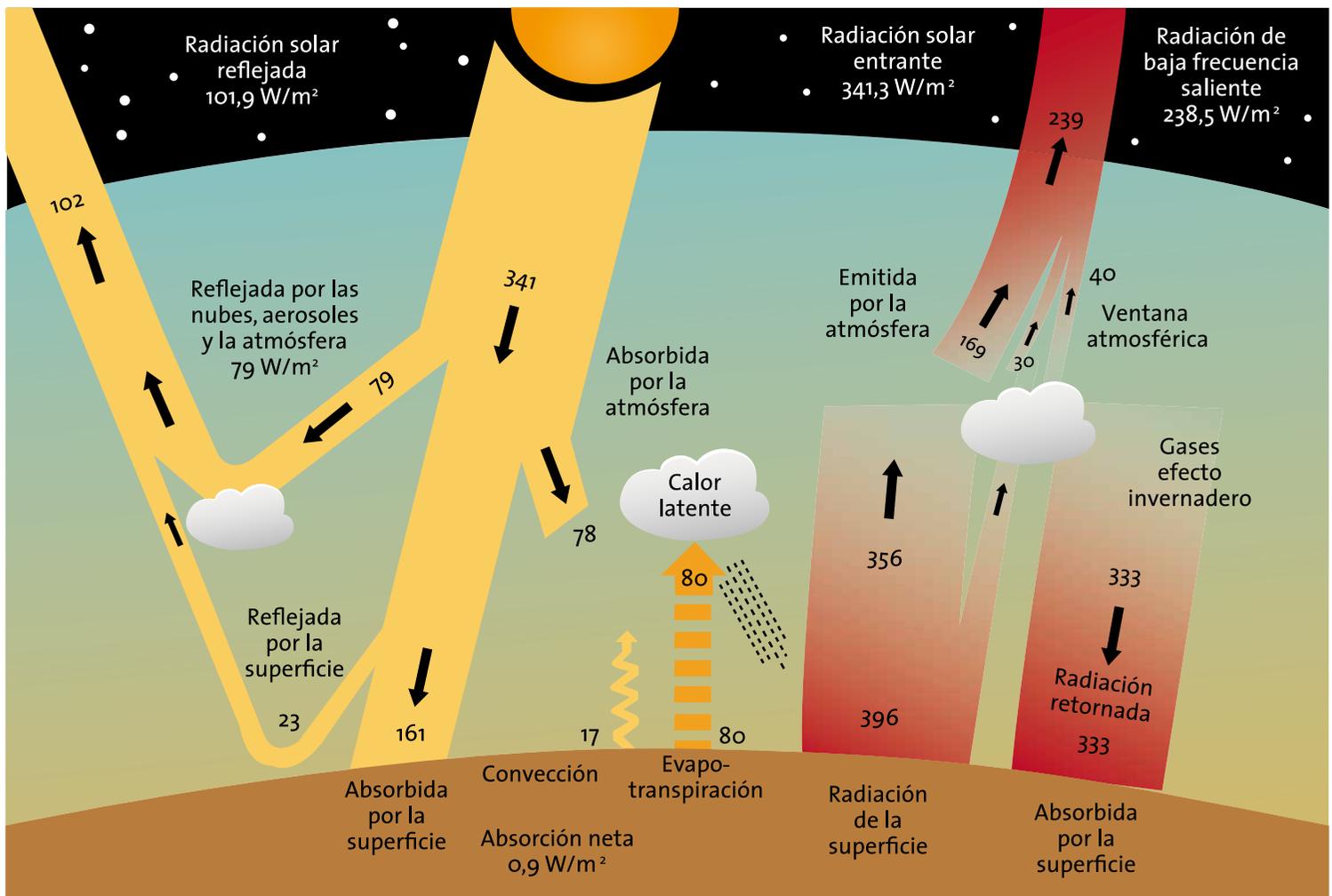


Figura 17. Balance energético de la Tierra. Adviértase que los flujos de energía están indicados en vatios por metro cuadrado.

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.

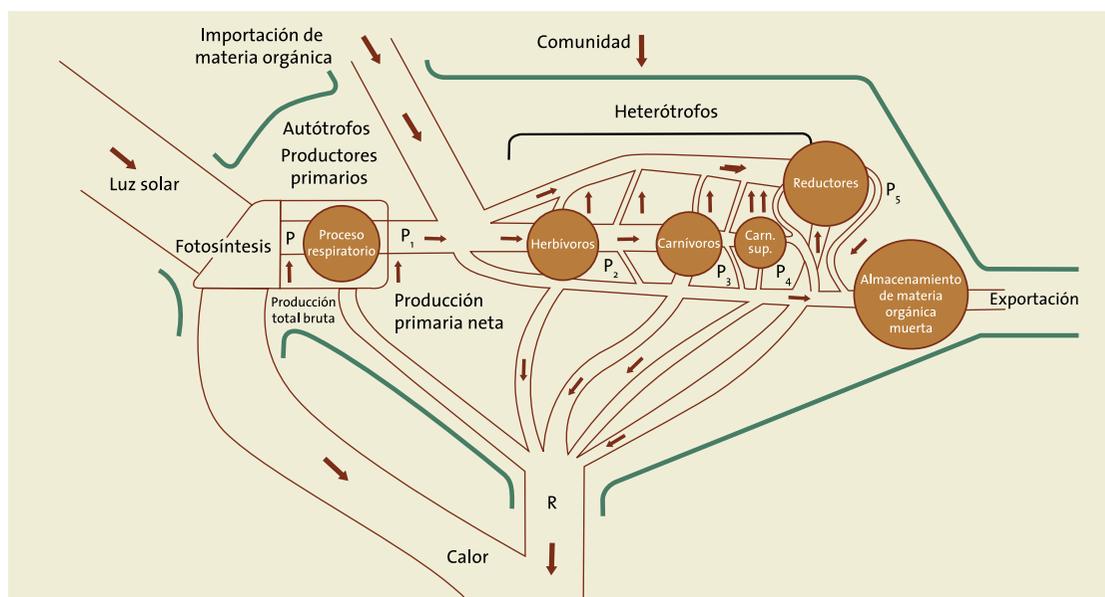


Figura 18. Síntesis y transformación de la biomasa, impulsada por la energía solar (tomado de Cicerone y col. 2006).

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.

PREVENCIÓN PRIMARIA DE LA DIABETES TIPO 2

La prevalencia de diabetes tipo 2 (DMT2) muestra un aumento continuo a nivel mundial y su control deficiente genera complicaciones graves que reducen la calidad de vida de quienes la padecen y elevan sus costos de atención. En Argentina, la diabetes afecta al 9,6% de la población adulta y alrededor del 66% de las personas con diabetes tiene complicaciones crónicas. Disminuir su impacto socioeconómico implicaría mejorar la eficacia del tratamiento de las personas con diabetes y simultáneamente prevenir su desarrollo en personas con alto riesgo de padecerla. Para identificar a estas personas, se han desarrollado cuestionarios de alta sensibilidad

y especificidad y de bajo costo que permiten adjudicar un puntaje de riesgo. Para prevenir en estas personas el desarrollo de la DMT2, pueden utilizarse estrategias no farmacológicas y farmacológicas. Las primeras, consistentes en la adopción de un plan de alimentación saludable y la práctica regular de actividad física, logran hasta un 58% de prevención y han demostrado ser efectivas en distintas poblaciones. Su efecto preventivo se mantiene hasta diez años después de la intervención. Las intervenciones farmacológicas, que emplean diversas drogas, han demostrado una eficacia preventiva generalmente menor que la de los cambios en el estilo de vida.

Los estudios económicos concuerdan en que tanto la detección por encuestas como las intervenciones preventivas son costo-efectivas. En función de estas evidencias, hemos puesto en marcha un plan piloto de prevención primaria de la DMT2 en personas con alto riesgo de desarrollarla en la provincia de Buenos Aires (ciudades de La Plata, Berisso y Ensenada) (PPD-BA). La iniciativa, de carácter intersectorial, es financiada por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, el CONICET y la empresa Sanofi de Argentina. Participan el Ministerio de Salud de la Provincia de Buenos Aires, las secretarías de Salud de las ciudades participan-

tes y la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad Nacional de La Plata. Su objetivo es evaluar la efectividad de la adopción de un estilo de vida saludable (plan de alimentación saludable y práctica regular de actividad física) sobre la manifestación clínica de la DMT2 en personas con riesgo aumentado de desarrollarla mediante una intervención autoadministrada y otra intensificada. Los resultados obtenidos permitirán reproducir el proyecto a gran escala a nivel nacional para prevenir el desarrollo de la DMT2 y, consecuentemente, disponer de una comunidad más sana y eficiente y mejorar la calidad de vida de la población general.

ANTECEDENTES

La prevalencia de la diabetes, especialmente, de la diabetes *mellitus* tipo 2 (DMT2) aumenta continuamente a nivel mundial y su control deficiente genera complicaciones graves que reducen la calidad de vida de quienes la padecen y elevan sus costos de atención.^{1,2} En Argentina, la diabetes afectaba en el año 2005 al 8,5% de la población adulta (Primera Encuesta Nacional de Factores de Riesgo 2006) y cuatro años después aumentó al 9,6% (Tabla 1); un aumento similar experimentaron otros factores de riesgo cardiovascular (FRCV), como la obesidad, la hipertensión arterial y dislipemia.^{3,4}

Tabla 1. Cambios en la prevalencia de la diabetes y otros factores de riesgo cardiovascular en Argentina (Encuesta Nacional de Factores de Riesgo 2009)

Variable	2005	2009
Sobrepeso (IMC >25 y <30)	34,4%	35,4%
Obesidad (IMC ≥30)	14,6%	18,0%
Escasa actividad física	46,2%	54,9%
Hipertensión	34,5%	34,8%
Colesterol elevado	27,9%	29,1%
Diabetes	8,4%	9,6%

A la preocupación lógica que generan estos números, se agrega el hecho de que aproximadamente el 50% de las personas con diabetes desconoce su condición, el 68% es diagnosticado incidentalmente, en general, debido a la manifestación de alguna complicación crónica, el 20-30% de quienes conocen su enfermedad no reciben ningún tratamiento y menos de la mitad de quienes lo reciben alcanzan metas terapéuticas capaces de prevenir el desarrollo de complicaciones crónicas. Por consiguiente, alrededor del 66% de las personas con diabetes desarrolla dichas complicaciones con las consecuencias antes mencionadas.⁵

La evidencia disponible muestra que el control adecuado de la glucemia y de los FRCV asociados a la DMT2 previene el desarrollo y la progresión de esas complicaciones (prevención secundaria)^{6,7} en forma costo-efectiva.⁸

La efectividad de la prevención depende, en gran medida, de la calidad de la atención brindada a las personas con diabetes. Desafortunadamente, dicha atención en general no es óptima,⁹ lo que facilita el desarrollo de las complicaciones y, en consecuencia, las hospitalizaciones, responsables del 50% de los costos médicos directos^{10,11} y de los costos indirectos (ausentismo, jubilaciones prematuras).¹²

Dado que el control actual de las personas con diabetes a nivel mundial no resulta satisfactorio, el desafío del siglo XXI para disminuir su impacto socioeconómico sería doble: mejorar la eficacia de su tratamiento y prevenir el desarrollo de la enfermedad en personas con alto riesgo de padecerla (prevención primaria).¹³ Cabe consignar que el número de personas con alto riesgo de desarrollar DMT2 es similar al de las personas con diabetes.¹⁴

La prevención de la diabetes implica conocer las causas que facilitan su desarrollo para poder modificarlas. En este sentido, sabemos que la prevalencia de la diabetes mostró un aumento paralelo al de la obesidad y se estima que ella es responsable de hasta un 75% del riesgo de desarrollar DMT2.¹⁵ El sedentarismo es otro factor importante que contribuye a la epidemia de diabetes, ya que favorece el desarrollo de sobrepeso/obesidad, prediabetes y DMT2.¹⁶

En consecuencia, un programa de prevención primaria debería comenzar por la identificación de las personas con alto riesgo de desarrollar DMT2, tales como las personas con sobrepeso/obesidad, con al menos un familiar con DMT2 o con diabetes gestacional previa.¹⁷ La historia natural de la DMT2, que incluye un período previo de tolerancia a la glucosa alterada (TGA) y glucemia en ayunas alterada (GAA), brinda una gran oportunidad para actuar sobre esta población.

La evidencia internacional demuestra que se ha logrado prevenir el desarrollo de la DMT2 en países con diferentes características étnicas y socioeconómicas y diferente organización de sus sistemas de salud. Por lo tanto, la implementación de programas de prevención primaria de la DMT2 representa una oportunidad única para reducir su incidencia y la de sus complicaciones, mediante una acción conjunta de la Salud Pública y de distintos sectores de la comunidad.

El éxito de la implementación a gran escala de estos programas requiere mejorar la relación médico-paciente, como así también implementar estrategias innovadoras que permitan trasladar los resultados de la investigación a la práctica asistencial.¹⁸ Según el grupo de trabajo en Prevención Primaria del CDC,¹⁹ para lograr ese objetivo se debe determinar:

- la forma más efectiva y eficiente de identificar subgrupos y personas en riesgo para modificar su estilo de vida,
- el método más apropiado para lograr y sostener estos cambios,
- los cambios en el sistema y las políticas necesarias para alentar y sostener intervenciones en el estilo de vida,
- los roles y las responsabilidades del médico, del sistema de salud y de la Salud Pública en la prevención primaria,
- los análisis económicos (costos absolutos y valor de las intervenciones) y
- los aspectos éticos de estas intervenciones.

Con el objetivo de facilitar la toma de decisiones y lograr la implementación de un programa efectivo para prevenir el desarrollo de la DMT2, a continuación describiremos brevemente las evidencias disponibles en la literatura internacional.

ESTRATEGIAS PARA IDENTIFICAR PERSONAS EN RIESGO DE DESARROLLAR DIABETES

Dado que la determinación de la glucemia en la población general para lograr este objetivo no es costo-efectiva, se han desarrollado cuestionarios basados en la identificación de diversos factores de riesgo para el desarrollo de la DMT2 y la adjudicación de un puntaje de riesgo. Algunos de ellos tienen una sensibilidad y especificidad diagnóstica similar a la prueba de tolerancia oral a la glucosa (PTOG)²⁰ y representan una estrategia diagnóstica más simple y económica que la determinación de la glucemia capilar aleatoria,²¹ de fructosamina,²² de hemoglobina glicada (HbA1c)²³ o de glucosuria.²⁴ A título informativo describiremos brevemente el más utilizado de estos cuestionarios.

En 1992, Lindström y Tuomilehto elaboraron el cuestionario FINRISK para identificar personas en riesgo de desarrollar DMT2, sin utilizar pruebas de laboratorio.²⁵ Como variables categóricas incluyeron la edad, el índice de masa corporal (IMC), la circunferencia de cintura, el tratamiento previo o actual de hipertensión, la práctica de actividad física y el consumo diario de frutas y vegetales. Con este cuestionario evaluaron prospectivamente (cinco años) la aparición de la DMT2 en 4435 personas (Tabla 2). La sensibilidad y especificidad diagnóstica del FINRISK fue del 81 y 76%, respectivamente.²⁶ Los autores concluyeron que su cuestionario era una herramienta simple, rápida, económica y reproducible para identificar personas en riesgo de desarrollar DMT2.

Tabla 2. Preguntas y puntaje de riesgo del FinRisk

Variables	Puntaje de riesgo
Edad	0-4
IMC	0-3
Perímetro de cintura	0-4
Actividad física	0-2
Consumo de verduras, hortalizas y frutas	0-1
Tratamiento de hipertensión arterial	0-2
Hiper glucemia en algún análisis	0-5
Familiar con DM	0-5

Puntaje > 13 significa alto riesgo de desarrollar DMT2

Con objetivos, indicadores y metodología similares se han desarrollado otros cuestionarios cuya descripción omitimos por razones de espacio, pero que el lector interesado puede consultar.^{27 28 29 30 31 32 33 34}

POSIBLE IMPACTO SOBRE LOS ENCUESTADOS DE LA IDENTIFICACIÓN DE PERSONAS EN RIESGO

A pesar de los beneficios que proporciona el uso de estos cuestionarios para identificar personas en riesgo a nivel comunitario, persisten algunas dudas sobre el posible impacto psicológico negativo sobre los encuestados,^{35 36} aunque la mayoría de los estudios sugiere que el impacto psicológico es menor y de corta duración.³⁷ En general, los participantes describen al pesquiasaje de diabetes como “una cosa buena” que permite diagnosticar y tratar tempranamente la enfermedad. La posible ansiedad generada puede ser un atributo positivo que aumenta la motivación para un cambio de comportamiento.

El hecho de que muchos participantes a los que se les diagnosticó una TGA o GAA manifesten su intención de no cambiar su estilo de vida actual sugiere que ellos desconocen el riesgo de desarrollar diabetes y patologías macrovasculares. Esto indicaría una falta de comprensión del mensaje profesional y la necesidad de una campaña de información previa a la implementación de estos pesquiasajes, que destaque sus beneficios tanto para la población como para cada persona individual.^{38 39 40 41}

PREVENCIÓN PRIMARIA DE LA DIABETES TIPO 2: EVIDENCIA INTERNACIONAL

Estrategias no farmacológicas. La prevención primaria de la diabetes implica actuar sobre los factores de riesgo modificables. Por sus características, la DMT2 es una condición ideal para enfocarse en el estilo de vida (plan de alimentación y actividad física), que está fuertemente relacionado con aspectos culturales.⁴²

Los estudios de intervención sobre el estilo de vida demuestran que con cambios moderados se puede reducir la progresión de la TGA a diabetes en un 50-60%.⁴³ La implementación de estas intervenciones en personas con TGA demostró ser efectiva en poblaciones muy diferentes, tales como las de Suecia, China, Finlandia, Estados Unidos e India.

Los principales factores de riesgo modificables son la obesidad ($IMC > 30 \text{ kg/m}^2$), en especial, con acúmulo de grasa visceral (aumento del perímetro de cintura), un plan de alimentación no saludable y falta de práctica regular de actividad física (sedentarismo). Consecuentemente, varios programas de prevención han centrado sus recomendaciones en el cambio del estilo de vida, solo o asociado al uso de drogas.⁴⁴ Como ejemplo describiremos algunos estudios que demuestran esta aseveración.

Estudio Malmö. Este estudio, desarrollado en Suecia, incluyó personas con tolerancia a la glucosa normal (TGN), TGA y DMT2 divididas en forma no aleatoria en dos grupos (DMT2 y TGA), que realizaron cambios en su estilo de vida, y otros dos grupos de no intervención (personas con TGA y TGN).⁴⁵ Al cabo de doce años de seguimiento, la mortalidad cardiovascular y general en las personas con TGA tratadas con plan de alimentación y actividad física fue similar a la del grupo de personas con TGN (6,5 vs. 6,2% personas/años de riesgo). La disminución de la mortalidad se correlacionó con la disminución del peso y el aumento de la actividad física. Estos valores de mortalidad fueron menores que los observados en el grupo de personas con TGA que no recibieron intervención (14% personas/años de riesgo).

Estos resultados indican que la adopción de estilos de vida saludables disminuye efectivamente las complicaciones micro y macrovasculares que producen la muerte cardiovascular.⁴⁶

Estudio Da Qing. Su objetivo fue determinar si el plan de alimentación y la actividad física podían retardar el desarrollo de la DMT2 en personas con TGA, sus complicaciones micro y macrovasculares y el exceso de mortalidad atribuible a ellas.⁴⁷ El estudio se desarrolló en treinta y tres clínicas de Da Qing (China) e incluyó 577 personas con TGA que se dividieron aleatoriamente en cuatro grupos: control, tratados con plan de alimentación, con práctica regular de actividad física y con combinación de estos dos últimos. En cada grupo se realizó la PTOG cada dos años durante seis años para identificar a aquellos que desarrollaban DMT2.

El análisis de los resultados demostró que el plan de alimentación produjo una reducción del 31% del riesgo de desarrollar DMT2; la actividad física un 46% y la intervención combinada de plan de alimentación y actividad física un 42%.

En las personas que no desarrollaron DMT2, los cambios de peso variaron entre un aumento de 0,93 kg a una reducción de 1,77 kg.

En función de estos resultados, los autores concluyeron que, en personas con TGA, el plan de alimentación y/o la actividad física disminuye efectiva y significativamente la incidencia de diabetes durante un período de seis años.

Estudio de Prevención de Diabetes (DPS). Este estudio, desarrollado en Finlandia, evaluó el efecto a corto y largo plazo de los cambios en la conducta alimentaria y la práctica de actividad física sobre el metabolismo de la glucosa y los lípidos.⁴⁸ El estudio incluyó 522 personas de edad media, con sobrepeso y TGA, divididas aleatoriamente en: a) grupo con controles y cuidados habituales y b) grupo con intervención intensiva en el estilo de vida.

La intervención consistió en reducir el peso corporal (más de 5%), las grasas totales y las saturadas, y en aumentar la práctica regular de actividad física (30 min/día) y la ingesta de fibras (15 g/1000 kcal).

El grupo control recibió consejo dietético y de actividad física general en la visita inicial más un control médico anual. Las personas del grupo intervención recibieron consejo dietético individualizado a través de una nutricionista. Complementariamente, se les proveyó entrenamiento (circuitos de resistencia) y se les aconsejó aumentar la actividad física. La intervención fue más intensa durante el primer año, seguida de un período de mantenimiento.

Luego de seis años de seguimiento, en el grupo de intervención se registró una reducción del 58% del desarrollo de DMT2. Al año y a los tres años, las reducciones del peso fueron de 4,5 y 3,5 kg en el grupo intervención y de 1,0 y 0,9 kg en el grupo control. Los cambios en los valores de glucemia y lipemia fueron significativamente mayores en el grupo intervención.

En función de estos resultados, los autores concluyeron que las intervenciones para lograr estilos de vida saludables (plan de alimentación y práctica regular de actividad física) mejoraron los parámetros clínicos y bioquímicos registrados y redujeron significativamente el riesgo de desarrollar diabetes. Por lo tanto, sugieren que las intervenciones de este tipo son una opción factible y efectiva para prevenir la DMT2, y deberían implementarse en el nivel primario de atención.

Estudio de Prevención de Diabetes (DPP). En este estudio aleatorizado, que se realizó en EE.UU., se probaron estrategias farmacológicas y no farmacológicas para prevenir o retardar el desarrollo de la DMT2 en personas con TGA y GAA.⁴⁹ Los grupos de tratamiento fueron:

1. Grupo control: sin intervención.
2. Grupo de intervención intensiva sobre el estilo de vida: su objetivo fue lograr y mantener una reducción del peso inicial no menor al 7% mediante un plan de alimentación saludable y la práctica de actividad física moderada, como correr o andar en bicicleta, al menos 150 min/semana. Dada la dificultad para alcanzar los objetivos propuestos, durante el estudio se desarrollaron actividades individuales y grupales flexibles y adaptadas a las pautas culturales. Los participantes tuvieron dieciséis sesiones con especialistas en nutrición, entrenamiento y modificación del estilo de vida durante las primeras veinticuatro semanas del estudio y luego contactos mensuales.
3. Grupo de metformina o placebo combinado con recomendaciones estándar sobre plan de alimentación y actividad física que incluyeron la entrega de información escrita, una sesión individual de 20-30 minutos referida al plan de alimentación, actividad física (30 minutos, 5 días/semana) y recomendaciones respecto al consumo de alcohol y cigarrillos.
4. Grupo de troglitazona: este grupo se interrumpió debido a la hepatotoxicidad de la droga.

Los resultados demostraron que al cabo de 2,8 años hubo una reducción relativa del 58% en la progresión de la TGA a la DMT2 en el grupo de estilo de vida comparado con el grupo control, y una reducción del 31% en el grupo tratado con metformina.

Programa Indio de Prevención de Diabetes. En este estudio participaron personas con TGA y se compararon los valores registrados en la presión arterial, los lípidos, la circunferencia de cintura y el electrocardiograma al inicio y luego de tres años de seguimiento en tres grupos diferentes conformados en forma aleatoria: control, con cambios en el estilo de vida y tratados con metformina.⁵⁰

Los resultados obtenidos mostraron que:

- las modificaciones en el estilo de vida y la metformina disminuyeron un 28% el riesgo de desarrollar DMT2 en el período estudiado;
- las alteraciones cardiovasculares fueron menores en los grupos con intervención, especialmente, en el grupo tratado con metformina;
- los cambios en el estilo de vida y la administración de metformina mejoraron el perfil lipídico, pero no la hipertensión arterial.

Otros estudios implementados con objetivos similares, pero con menor número de participantes y menor duración del seguimiento, han demostrado resultados similares, por lo que no los describiremos. No obstante, el lector puede consultarlos acudiendo a las referencias pertinentes.^{51 52 53}

EFFECTO A LARGO PLAZO DE LA PREVENCIÓN DE LA DMT2 MEDIANTE CAMBIOS EN EL ESTILO DE VIDA

Aunque las intervenciones intensivas sobre el estilo de vida reducen la incidencia de la DMT2 en personas con TGA, no está claro por cuánto tiempo se extienden estos beneficios al finalizar la intervención activa y si estas intervenciones reducen el riesgo de enfermedad cardiovascular (ECV) y la mortalidad. Para responder estos interrogantes, se realizó un seguimiento a veinte años de los participantes del estudio Da Qing Diabetes Prevention Study.⁵⁴

Las variables primarias evaluadas fueron la incidencia de diabetes y de ECV y la mortalidad por diabetes y por cualquier causa. Para el análisis se unificaron los tres grupos de intervención (plan de alimentación, actividad física y combinación de ambos), ya que a los seis años no se encontraron diferencias entre ellos.

Comparados con los participantes del grupo control, apareados por edad y agrupados por clínicas, los incluidos en el grupo de intervención combinada tuvieron una incidencia de DMT2 51% menor durante el período de intervención activa y una incidencia 43% menor veinte años después. El promedio de incidencia anual de DMT2 fue de 7% en los grupos de intervención vs. 11% en los controles, con una inci-

dencia acumulada del 80% en los grupos de intervención y de 93% en los controles (número necesario para tratar [NNT] = 6 para prevenir un caso de diabetes).

No hubo diferencia significativa entre los grupos de intervención y control en la incidencia del primer evento de ECV, en la mortalidad por ECV y por cualquier causa. Tampoco se encontraron cambios significativos de peso entre los dos grupos.

Los autores concluyeron que las intervenciones en el estilo de vida durante seis años pueden prevenir o retardar la aparición de DMT2 hasta catorce años; no está claro, en cambio, si pueden reducir los eventos de ECV y la mortalidad por esta enfermedad.

Con idéntica finalidad de observar el efecto de los cambios en el estilo de vida a nivel cardiovascular a largo plazo, los autores del Finnish Diabetes Prevention Study⁵⁵ revisaron su casuística. Para ello, identificaron personas que luego de una media de cuatro años del período de intervención activa no tenían DMT2 y las controlaron durante un período promedio de siete años, registrándose la incidencia de diabetes, el peso corporal, la práctica de actividad física y el consumo total de grasa, grasa saturada y fibra.

Los resultados obtenidos mostraron que, durante el período total del seguimiento, la incidencia de DMT2 fue 4,3 y 7,4/100 personas/año en los grupos intervención y control, respectivamente, lo cual indica una reducción del 43% del riesgo relativo.

La reducción del riesgo se asoció a la pérdida de peso (> 5%); la disminución de la ingesta total de grasas y grasas saturadas, al aumento de la ingesta de fibras dietéticas y al aumento de la actividad física (al menos cuatro horas semanales de bicicleta, caminata u otros).

Los cambios beneficiosos en el estilo de vida logrados por los participantes en el grupo de intervención se mantuvieron luego de discontinuar este, y las correspondientes tasas de incidencia durante el seguimiento post-intervención fueron de 4,6 y 7,2. Esto indica una reducción en el riesgo relativo de 36%.

Los autores llegan a la conclusión de que los efectos beneficiosos de las intervenciones en el estilo de vida en personas con alto riesgo de desarrollar DMT2 se mantienen al finalizar el estudio, lográndose una reducción en la incidencia de la enfermedad. Los pacientes que mantuvieron los cambios en el estilo de vida saludable no progresaron al estadio de DMT2. Un 30% de las personas del grupo de intervención no logró más de un objetivo al año de finalizar el estudio. Por esto, la adherencia a los cambios en el estilo de vida se presenta como un real desafío. También sugieren que estas intervenciones deberían aplicarse a todas las personas con alto riesgo de desarrollar DMT2 aun antes de la aparición de la TGA.

En función de todos estos resultados, Madden y colaboradores sugieren que las futuras investigaciones de prevención primaria de DMT2 deberían apuntar al largo plazo para determinar la necesidad de potenciar intervenciones u otros métodos que disminuyan su incidencia.⁵⁶

CONDICIONES QUE FACILITAN LOGRAR LA PREVENCIÓN PRIMARIA DE LA DMT2 MEDIANTE CAMBIOS EN EL ESTILO DE VIDA. IMPORTANCIA DEL APOYO FAMILIAR Y EL ENTORNO SOCIAL

En los estudios Malmö, Da Qing, DPP y DPS, se enfatizó la importancia del compromiso de los participantes con sus objetivos individuales. Cada participante utilizó consultas individuales para definir *sus propios objetivos*, más allá de los generales, propuestos por el investigador. En todos los estudios se puso en evidencia la importancia de la familia y el contexto social para alcanzar una prevención exitosa. En el estudio DPP y Malmö se promovió la participación de los cónyuges en las sesiones individuales de consejo que tenían los pacientes, ya que se consideró el apoyo familiar como un elemento clave del apoyo social, en el que la intervención sobre un integrante indefectiblemente afecta a los otros. Por este motivo, los estudios de este tipo deben involucrar a la familia para obtener mejores resultados.

INTERVENCIONES FARMACOLÓGICAS

Metformina. Como se mencionara anteriormente, una de las ramas del Diabetes Prevention Program Research Group consistió en administrar metformina a personas con TGA, lo cual obtuvo una disminución significativa (31%) en la ocurrencia de la DMT2. Según los investigadores, mientras que con el tratamiento de cambios en el estilo de vida para prevenir la progresión de TGA a DMT2 en un caso debían tratar 6,9

personas, para lograr el mismo efecto con metformina debían tratar 13,9 personas.⁵⁷ Fontbonne y colaboradores⁵⁸ y Ratner y colaboradores⁵⁹ obtuvieron resultados similares. Por otra parte, Hess y Sullivan⁶⁰ y, más recientemente, Lilly y Godwin⁶¹ evaluaron la evidencia publicada sobre la eficacia de la metformina en la prevención de la DMT2. Ambos estudios concluyen que la droga puede reducir la ocurrencia de diabetes en personas con TGA. No se ha confirmado la eficacia de la metformina en el largo plazo.

Inhibidores de la alfa glucosidasa. Acarbosa. Los inhibidores de la enzima α -glucosidasa disminuyen la elevación glucémica posprandial mediante la inhibición de esta enzima y el consecuente retardo de la degradación de los carbohidratos complejos en la luz intestinal. Si bien existen diferentes moléculas (acarbose y voglibosa), la droga disponible en nuestro país es la acarbose. Debe administrarse antes de la ingestión de alimentos. No se absorbe y actúa en la luz intestinal. Dado este particular mecanismo, reduce principalmente la glucotoxicidad posprandial. Como efectos colaterales, produce síntomas gastrointestinales que muchas veces llevan a la suspensión del tratamiento.

En el estudio STOP-NIDDM se evaluó el efecto de la acarbose sobre la progresión de la TAG a la DMT2.⁶² El 78,2% de las personas que participaron en este estudio tenía un IMC ≥ 27 , el 47,5% presentaba hipertensión arterial, el 51,2% dislipidemia y el 22,8% de las mujeres tenía antecedentes de diabetes gestacional (DG). En el estudio se administró acarbose (100 mg/día antes de cada una de las tres comidas diarias) a 221 personas, mientras que a otras 285 personas se les administró placebo. Ambas intervenciones se complementaron con cambios en el estilo de vida.

En un seguimiento de 3,3 años, en el grupo acarbose se registró una reducción del 25% en el riesgo de progresar de TAG a DMT2. Sin embargo, en las personas a las que se reevaluó mediante una segunda PTOG, la reducción fue del 32%; valor similar al observado con la administración de metformina en el estudio DPP (ver descripción previa de este estudio).

Es interesante destacar que, además, se observó una reversión de la TGA a TGN en un número significativo de personas. Según este trabajo, se necesitaría tratar once personas con TGA durante 3,3 años para evitar un caso de DMT2.^{63 64} Otro trabajo prospectivo, realizado en Japón en personas con TGA seguidas por un mínimo de tres años⁶⁵ y tratadas con voglibosa (0,2 mg tres veces/día [n=897]) vs. placebo (n=883), tuvo como objetivo primario detener la progresión de la TGA a DMT2 y, como objetivo secundario, la remisión de la TGA a la normalidad. La administración de voglibosa redujo un 40,5% el riesgo de evolución a DMT2 y en un 59% se observó retorno de la TGA a TGN.

Los autores concluyeron que la voglibosa asociada a cambios en el estilo de vida reduce significativamente el riesgo de progresión de la TAG a DMT2. Al igual que con la acarbose, las personas tratadas con voglibosa presentaron un número importante de efectos secundarios gastrointestinales.⁶⁶

Tiazolidinedionas (TZD). Las TZD son drogas que activan los receptores nucleares PPRgama (*peroxisome proliferator-activated gamma receptor*) y aumentan la sensibilidad a la insulina a nivel de los tejidos periféricos y el tejido hepático, mejoran la secreción de insulina y preservan la vitalidad de las células β (productoras de insulina). Además, reducen los valores de la glucemia y de la HbA1c (0,8-1,5%) y producen también una serie de efectos pleiotrópicos beneficiosos sobre diferentes factores de riesgo cardiovascular. Debido a estas características se las había incluido como uno de los tratamientos para personas con TGA en el estudio prospectivo DPP en la rama de tratamiento con una TZD. Lamentablemente, la administración de troglitazona (TZD; disponible en ese momento) debió interrumpirse por sus efectos hepatotóxicos.⁶⁷ Sin embargo, los datos obtenidos a menos de un año de tratamiento mostraron una disminución de más del 60% en el riesgo de progreso de la TGA a DMT2. El desarrollo de moléculas sin efectos hepatotóxicos, tales como la rosiglitazona y la pioglitazona, permitió evaluar el posible efecto de las TZD sobre la progresión de la TGA a la DMT2 (estudio DREAM).⁶⁸ El DREAM demostró que el tratamiento con 8 mg de rosiglitazona redujo, en un plazo de tres años, un 60% la transición de TGA y/o GAA a DMT2 e indujo una regresión a la normalidad de la TGA o GAA del 50,5%. El empleo de pioglitazona en población indoasiática (estudio IDPP-2)⁶⁹ no produjo un efecto aditivo de esta droga a la mejoría lograda por los cambios en el estilo de vida. Esta discrepancia con los resultados del DREAM podría deberse a diferencias de tipo étnicas. No se ha demostrado un efecto residual de este tipo de medicación, ya que su efecto beneficioso solo se observa mientras está siendo utilizada.

COSTO-EFECTIVIDAD DE LOS PROGRAMAS DE PREVENCIÓN PRIMARIA DE LA DMT2

La evidencia disponible demuestra que los programas de prevención primaria de la DMT2, implementados en países con diversas etnias y distintas condiciones socioeconómicas, son costo-efectivos y, en algunas condiciones,

costo-ahorradadores.^{70 71 72 73} Así, por ejemplo, el estudio de Norinder y colaboradores⁷⁴ referido al estudio preventivo de Malmö (Suecia) durante el período 1974-1996 demostró que los gastos netos para el reclutamiento y la intervención fueron de SEK 253 millones, mientras que el ahorro en los costos de atención de pacientes fue de SEK 143 millones (a precios de 1998). Considerando el costo de oportunidad de los recursos utilizados en el estudio, el costo neto fue de SEK 200 millones. Estos resultados sugieren que solo una parte de los costos de la intervención se compensan por la reducción de los futuros costos de atención. Estas características deberían hacer que los planificadores de salud y quienes tienen el poder de decisión de implementar diferentes políticas de salud pública, los incorporaran para su aplicación progresiva en poblaciones de alto riesgo y, posteriormente, en la población general.

CONCLUSIÓN

Del análisis de la evidencia disponible podemos concluir que:

- existe una población con alto riesgo de desarrollar DMT2 sobre la que se puede intervenir efectivamente para prevenir o retrasar dicho desarrollo;
- los métodos no invasivos disponibles para identificar personas con riesgo de desarrollar diabetes son costo-efectivos y su implementación no implica daños psicológicos importantes para la población encuestada. La eficacia de estos métodos se potencia mediante campañas de información masiva sobre los beneficios de su detección y tratamiento precoz;
- en personas con alto riesgo de desarrollar DMT2, las intervenciones sobre el cambio en el estilo de vida (plan de alimentación y práctica regular de actividad física) y la administración de ciertas drogas previene/retrasa significativamente dicho desarrollo. Estas intervenciones son costo-efectivas.
- En función de estas conclusiones, la implementación de programas de prevención primaria de la DMT2, basados en los principios descriptos, beneficiaría a las personas, a la comunidad y a la Salud Pública y Privada de países en desarrollo como la Argentina.

PREVENCIÓN PRIMARIA DE LA DIABETES TIPO 2 EN ARGENTINA. ESTUDIO PILOTO EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES (PPDBA)

RELEVANCIA DEL ESTUDIO

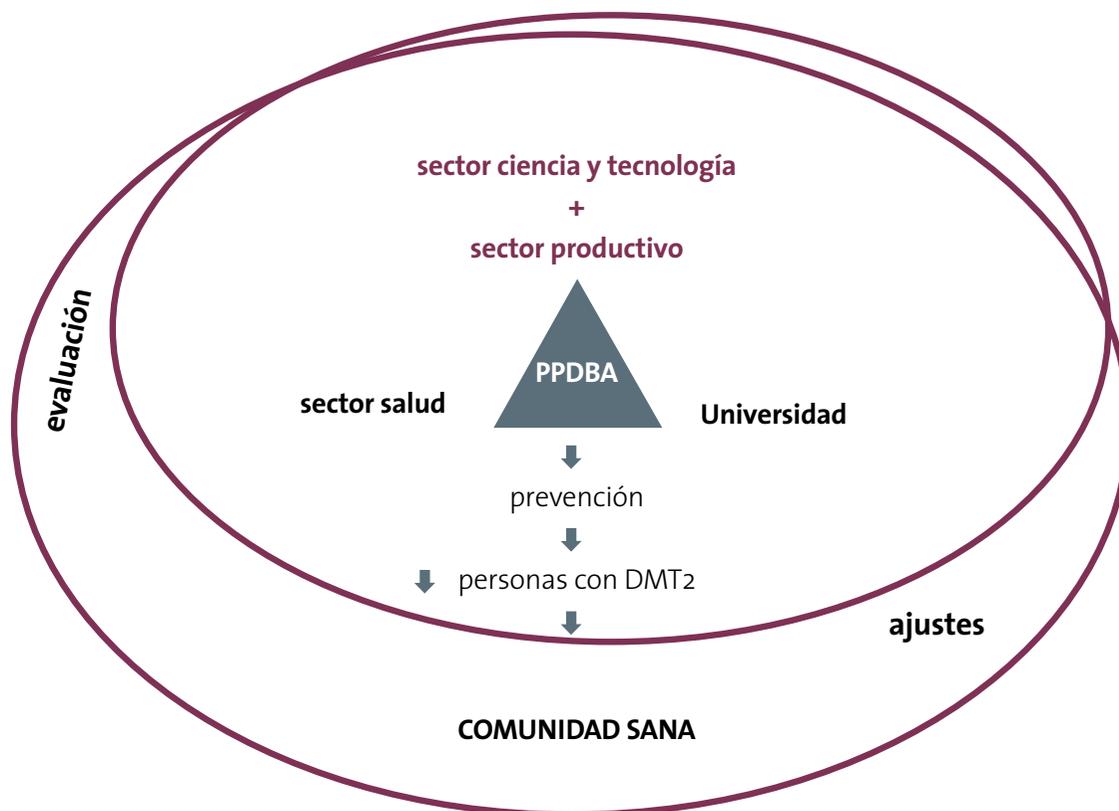
En el año 2007, los ministros de Salud iberoamericanos elaboraron la Agenda de Salud para las Américas 2008-2017, que incluía entre sus prioridades las enfermedades no transmisibles, debido al crecimiento de tipo epidémico de la diabetes y otros FRCV en las últimas décadas.⁷⁵ La Agenda destacaba la urgente necesidad de implementar acciones preventivas para neutralizar su impacto, por lo que el PPDBA se ajusta a esos lineamientos. Por otra parte, a pesar de que la prevalencia de la DMT2 en Argentina y en América Latina es alta y está en continuo crecimiento, las actividades para prevenirla son prácticamente inexistentes. Aunque la evidencia internacional descripta anteriormente demuestra contundentemente la factibilidad de la prevención primaria efectiva de la DMT2, antes de promover la implementación de un programa de prevención primaria a gran escala a nivel nacional es necesario y prudente verificar cómo funcionaría en diferentes circunstancias y con distintos grupos poblacionales. Igualmente, es preciso identificar las dificultades a fin de lograr una adherencia suficiente a las estrategias de prevención para lograr evitar o neutralizar dichas dificultades. En consecuencia, el PPDBA, que será el primero de su tipo en nuestro país y uno de los primeros en la región de América Latina, pretende responder estos interrogantes.

PLAN DE SUBVENCIÓN Y SUSTENTABILIDAD

La implementación del PPDBA integra diferentes sectores de la salud, universitarios y de ciencia y tecnología, como así también entidades comunitarias y del sector productivo internacional (Figura 1). De esta manera, el compromiso activo de los decisores políticos facilitará la implementación ulterior de las intervenciones probadas, si estas demuestran ser exitosas, a escala nacional.

El PPDBA utilizará el cuestionario FinRisk⁷⁶ para identificar personas con alto riesgo de desarrollar DMT2. Este incluye ocho preguntas y sus características han sido descriptas más arriba. Brevemente, la suma de puntos del cuestionario determina que quienes superan el valor de 15 tienen alto riesgo de desarrollar DMT2. Su

Figura 1. Pirámide con integración sectorial



utilización permite establecer una primera selección de personas que deben realizar una prueba de tolerancia oral con glucosa (PTOG) para confirmar el diagnóstico de prediabetes. Cabe destacar que la PTOG realizada en estas personas también permite identificar aquellas que ya han desarrollado la DMT2, pero lo ignoran, promoviendo su diagnóstico temprano y su tratamiento oportuno.⁷⁷

En función de las recomendaciones del Dr. Tuomilehto (referente internacional en el área de prevención primaria de la DMT2 y asesor del PPDBA), en nuestro estudio incluiremos inicialmente personas que tienen ≥ 13 puntos y el riesgo será confirmado mediante la PTOG. En las personas en las cuales confirmemos el alto riesgo, verificaremos si dos intervenciones (autoadministrada vs. intensificada) sobre el estilo de vida (plan de alimentación saludable y práctica regular de actividad física) reducen su tasa de conversión a DMT2 y mejoran el control de los FRCV asociados.

El estudio se desarrollará en tres municipios de la provincia de Buenos Aires (La Plata, Berisso y Ensenada) e incluirá un seguimiento de dos años de las personas con TGA adjudicadas aleatoriamente a uno de los dos grupos mencionados. Durante los primeros seis meses se realizarán actividades de información y difusión a través de los medios masivos de comunicación, seguidas del relevamiento de información personal (FinRisk), la realización de las PTOG, la incorporación de las personas con TGA/GAA que firmen un consentimiento informado de su participación (aprobado por el Comité de Ética de la Universidad Nacional de La Plata y del Ministerio de Salud de la Provincia de Buenos Aires) y, finalmente, la evaluación clínica de cada participante. Una vez asignado a uno de los dos grupos antes mencionados, cada participante deberá permanecer veinticuatro meses en el estudio.

RESULTADOS PRELIMINARES

Con el objeto de probar los instrumentos del PPDBA, realizamos un estudio preliminar en los municipios de General Belgrano y Brandsen con la activa participación de las respectivas Secretarías de Salud, de alumnos y personal docente de la cátedra de Epidemiología de la Facultad de Ciencias Médicas de la UNLP, de la oficina de prensa del CONICET La Plata, la Fundación FABA y la empresa Sanofi.

Durante su implementación, estudiantes de medicina voluntarios, previamente entrenados, visitaron en cada ciudad todos los hogares de seis manzanas elegidas al azar. Completaron el FinRisk mediante una entrevista y entregaron instructivos para realizar la PTOG a las personas con puntaje ≥ 13 y 15 puntos. En la semana previa a la encuesta hubo actividades de promoción en los medios masivos de comunicación locales, en los que se anunciaba el estudio, se solicitaba la colaboración de la población y se les recordaba la necesidad de conocer su talla, peso y perímetro de cintura al momento de la entrevista.

Se encuestaron 212 personas en Brandsen y 218 en General Belgrano, y se registró un 13 y 21% promedio de personas en riesgo, según se considerase puntaje >15 o >13 , respectivamente. En ambos casos la prevalencia aumentó en función de la edad (Figura 2).

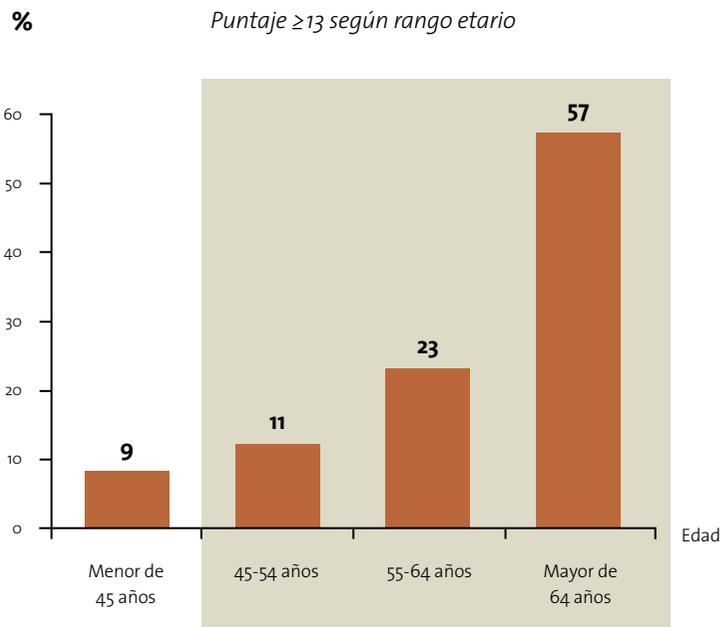


Figura 2. Resultados de las encuestas en Brandsen y General Belgrano

Las barras representan el porcentaje de personas con puntaje ≥ 13 puntos según grupo etario

Los resultados obtenidos permitieron: a) verificar la efectividad de las visitas de los alumnos para la etapa de incorporación de personas al PPDBA, b) conocer la frecuencia de casos de TGA detectados para luego ajustar el número de personas a entrevistar y así asegurar la obtención del tamaño muestral requerido, c) no incluir en la muestra futura personas <45 años (baja prevalencia de TGA), d) determinar el grado de aceptación de la PTOG y e) definir la intensidad y el tiempo de las campañas en los medios masivos de comunicación para lograr la adhesión efectiva de la población de las ciudades participantes en el PPDBA.

OBJETIVOS DEL PROYECTO

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la efectividad de la adopción de un estilo de vida saludable (plan de alimentación saludable y práctica regular de actividad física) sobre la transición de TGA/GAA a DMT2 en personas con riesgo aumentado de desarrollarla, mediante una intervención autoadministrada y otra intensificada.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Verificar si las intervenciones sobre el estilo de vida en esas personas también mejoran significativamente otros FRCV presentes (obesidad, hipertensión arterial y dislipemia).
2. Proveer evidencia de factibilidad y costo de cada una de las intervenciones implementadas (autoadministrada e intensificada) para facilitar la elaboración de políticas y la planificación de actividades de prevención primaria a gran escala, a nivel del sistema de salud local y nacional.
3. Identificar genes que, en nuestro medio, favorezcan/previengan el desarrollo de prediabetes y su transición a DMT2; esto permitiría detectar rápidamente personas en riesgo e implementar en ellas estrategias de prevención en forma precoz y eficiente.
4. Verificar y comparar la sensibilidad y especificidad de la PTOG y de la HbA1c (valor de corte) para la identificación de personas en riesgo de desarrollar DMT2.
5. Identificar y cuantificar la presencia de lesiones microvasculares (microaneurismas en retina), en población con TGA/GAA.

6. Identificar potenciales barreras y alianzas estratégicas interdisciplinarias e intersectoriales para la implementación efectiva de este tipo de programas.
7. Generar material educativo útil para difundir en la población general y en la población de alto riesgo por diversos medios (escuelas, programas de difusión y medios masivos de comunicación).
8. Disminuir el número de personas con DMT2 sin diagnóstico.
9. Mejorar la calidad de vida de las personas con prediabetes mediante la adopción de un estilo de vida saludable.
10. Lograr una comunidad más sana y consecuentemente más productiva.

METODOLOGÍA A EMPLEAR EN EL PPDBA

DISEÑO DEL ESTUDIO

Se desarrollará un estudio prospectivo y aleatorizado en el que se reclutarán participantes en tres municipios de la provincia de Buenos Aires (La Plata, Berisso y Ensenada), mediante un amplio programa de detección en la población general adulta (Figura 3), utilizando el cuestionario FinRisk.⁷⁸

Se estimará el número de participantes necesario con el fin de obtener un poder del 90% para detectar una diferencia porcentual del 20% en la conversión de la TGA/GAA (comparando conversiones de 70% vs. 50%) entre ambos grupos (intervención autoadministrada e intensificada), con un nivel de significación del 5%. El tamaño elegido deberá también proporcionar un poder >90% para detectar una diferencia de 6 mmHg en el cambio en la presión arterial sistólica (con un desvío estándar de 14 mmHg) entre los grupos, con un nivel de significación del 5%. Para alcanzar las condiciones mencionadas se estableció que se necesitan dos grupos de 223 personas cada uno. Este número se ajustará asumiendo una pérdida del 12% durante el periodo de veinticuatro meses de seguimiento. En consecuencia, se reclutarán 500 participantes divididos según ciudad de origen en dos grupos de 250 participantes cada uno.

Para alcanzar ese número se estableció un sistema de muestreo por áreas geográficas de manera que la población muestral obtenida fuera representativa de la población general de las tres ciudades incluidas en el estudio. En consecuencia, las encuestas se llevarán a cabo en 52 manzanas en las ciudades de Berisso y Ensenada y en 43 manzanas de la ciudad de La Plata.

La Figura 4 muestra en forma resumida el número de visitas y el proceso mediante el cual se llega a obtener las 500 personas con TGA necesarias para implementar el estudio.

Criterios de inclusión: Hombres y mujeres de 45 a 75 años de edad con TGA/GAA o ambas que acepten firmar el correspondiente consentimiento informado establecido por el Comité de Ética.

Criterios de exclusión: Personas con diabetes diagnosticada, con enfermedades mentales que afecten su conducta, alcoholismo o drogadicción, con antecedentes de enfermedades o eventos con sobrevida limitada o que se nieguen a firmar el consentimiento informado.

DESCRIPCIÓN DE LA INTERVENCIÓN

Las personas con puntaje ≥ 13 puntos se someterán a una PTOG; luego se invitará a participar a todas las personas con TGA/GAA, y se incorporará al estudio a quienes deseen hacerlo, acepten sus condiciones y firmen el correspondiente consentimiento informado.

A las personas con PTOG normal (TGN) se les sugerirá que repitan la prueba anualmente y aquellas en las que se detecte DMT2 serán derivadas a su médico de cabecera con una carta en la que se describa el resultado de la PTOG, y en la que se sugiera la prescripción de un tratamiento ad hoc de la enfermedad.

Luego de aplicarse los criterios de inclusión/exclusión, a las personas incorporadas se les determinará peso, altura, circunferencia de cintura, presión arterial, fondo de ojo, HbA1c, glucemia en ayunas y dos horas después de ingerir 75 g de glucosa (PTOG), colesterol total, colesterol HDL, colesterol LDL (cálculo) y triglicéridos. Completadas estas determinaciones, los participantes se asignarán en forma aleatoria a uno de los dos grupos de estudio:

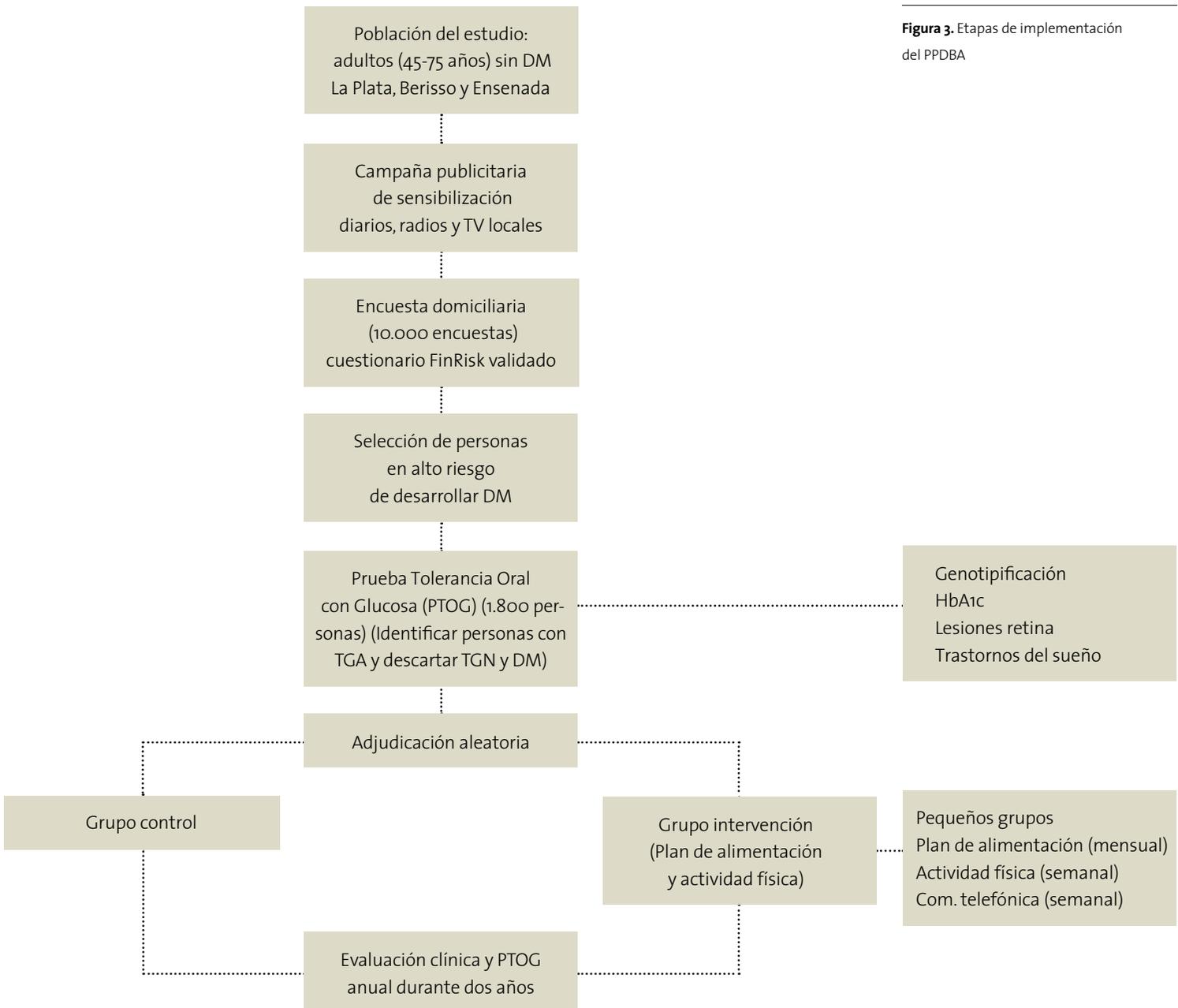


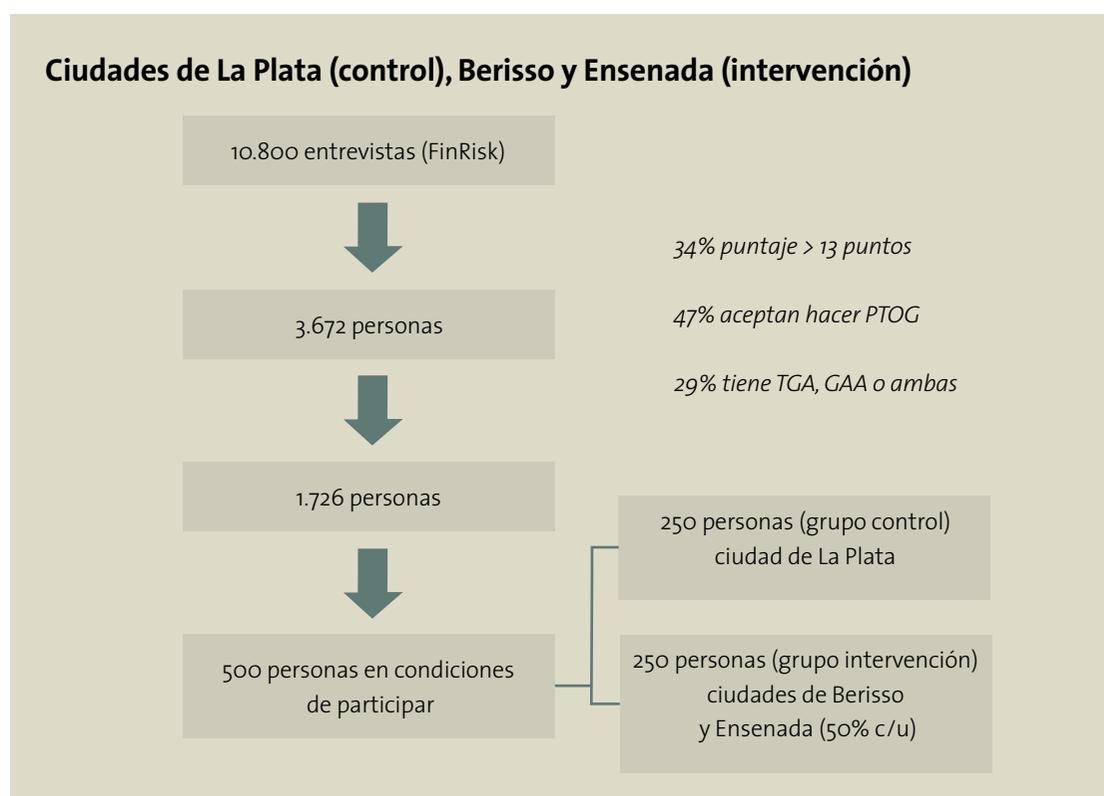
Figura 3. Etapas de implementación del PPDBA

1. *Grupo intervención autoadministrada*, que recibirá asesoramiento sobre estilo de vida a cargo de un médico y material educativo impreso (idéntico al del grupo de intervención intensificada). El asesoramiento médico incluirá la enumeración de acciones capaces de prevenir/retardar el desarrollo de la DMT2 y las facilidades disponibles en su comunidad para su implementación. Se les facilitará el acceso a la consulta nutricional y a la de actividad física a aquellos participantes que lo soliciten.
2. *Grupo intervención intensificada*, que recibirá intervenciones intensivas sobre estilo de vida saludable (educación y actividad física en pequeños grupos).

La *intervención nutricional* consiste en la asistencia obligatoria a seminarios grupales mensuales. En los seminarios se brindarán conocimientos sobre el plan de alimentación saludable, sus aliados y barreras potenciales y cómo lograr las metas fijadas en la intervención. Estas metas son:

- i) reducción de peso >5% en personas con sobrepeso/obesidad según IMC (>25 y 30 kg/m², respectivamente),
- ii) consumo total de grasas < 30 % del total de calorías ingeridas,
- iii) consumo de grasas saturadas < 10 % del total de calorías ingeridas,
- iv) disminución del consumo de sal y sacarosa (azúcar de mesa) y
- v) consumo de frutas o vegetales de al menos 500 g diarios.

Figura 4. Área de implementación del PPDBA



Los participantes del grupo intervención se dividirán en subgrupos de quince participantes para los seminarios grupales que se realizarán mensualmente durante el primer año de la intervención y en forma bimestral durante el segundo año. Estos seminarios estarán a cargo de nutricionistas previamente entrenados y supervisados por la nutricionista y el grupo de apoyo motivacional del estudio.

La *intervención de actividad física* consiste en prácticas y seminarios grupales (quince personas) desarrollados semanalmente (tres veces por semana) con un profesor de Educación Física previamente entrenado, tal como se describió en el párrafo anterior. El objetivo de esta intervención es practicar regularmente ejercicio de intensidad moderada durante 30 min/día o más. Las actividades grupales serán mensuales durante el primer año de la intervención y bimestrales durante el segundo año.

El período de seguimiento de los participantes de ambos grupos tendrá una duración de veinticuatro meses, que se contabilizarán a partir de la conformación de los dos grupos e inicio de las actividades educativas. Durante ese período, los participantes de ambos grupos tendrán dos visitas médicas, en los meses doce y veinticuatro. En cada una de ellas se realizará una PTOG y un examen clínico completo y se registrarán diversas variables, en particular, peso corporal, circunferencia de cintura, presión arterial, HbA_{1c} y perfil lipídico.

En los casos en los que se detecte DMT₂, la persona será dada de baja en el estudio y derivada a su médico personal con una carta en la que se describa el diagnóstico de diabetes y se le sugiera prescribir su tratamiento ad hoc.

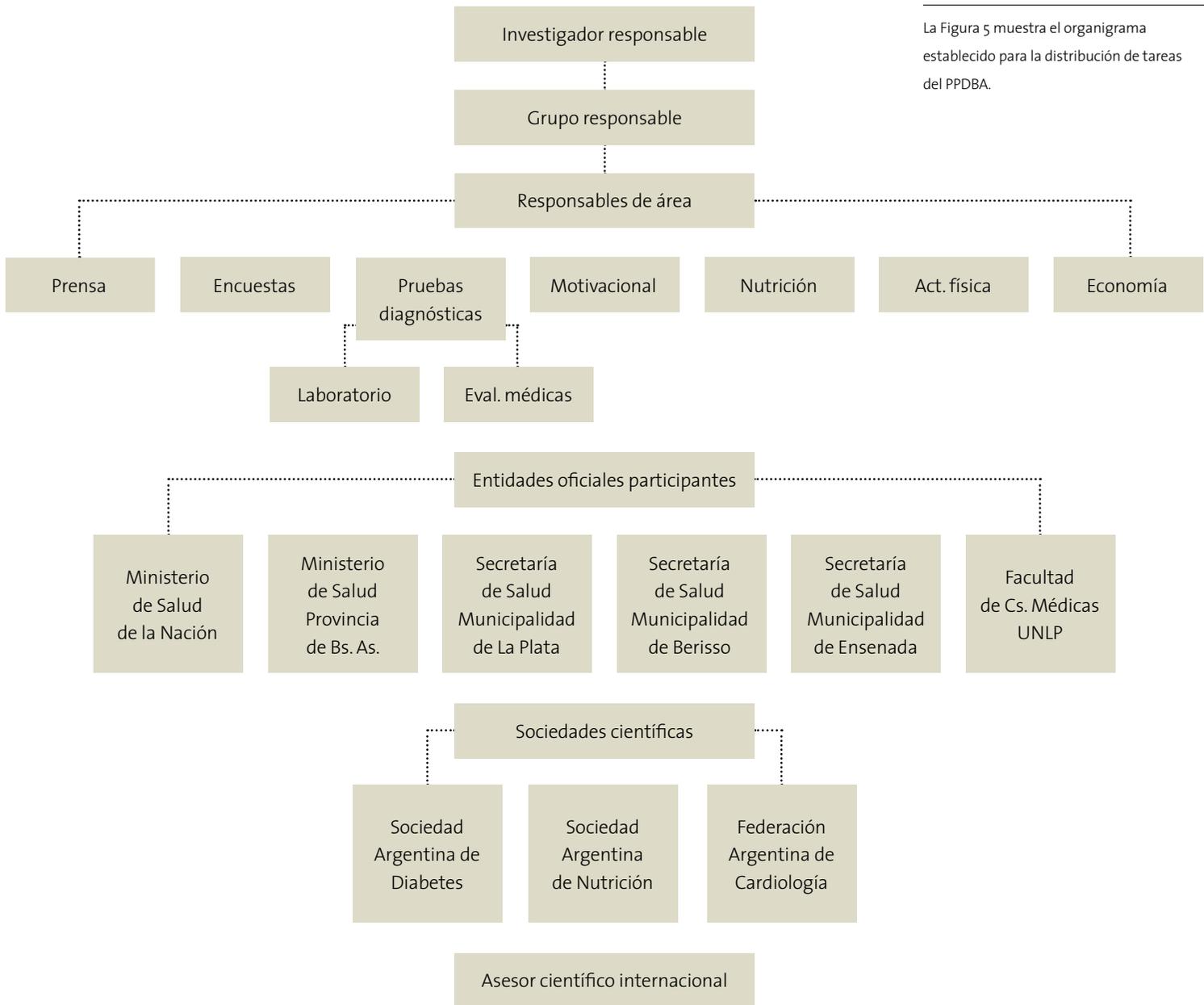
En el caso del grupo de intervención autoadministrada, en cada visita se impartirán nuevas recomendaciones, tanto al participante como a su médico de cabecera, y se incluirán datos sobre las mediciones efectuadas.

ESTRATEGIAS PARA LOGRAR LA ADHERENCIA DE LOS PARTICIPANTES A LAS ESTRATEGIAS DE PREVENCIÓN

La adopción de un estilo de vida saludable por parte de adultos sin una percepción sólida de enfermedad o riesgo inmediato es un desafío permanente. Para disminuir su impacto negativo, emplearemos dos estrategias diferentes:

1. Entrenamiento de los docentes (educación alimentaria y práctica de actividad física) en técnicas de motivación preparadas por el grupo de apoyo psicológico.
2. Sistema de llamados telefónicos semanales a los enrolados en el grupo de intervención intensificada en el que se empleará un diálogo preestructurado.

ORGANIZACIÓN CIENTÍFICA Y RESPONSABILIDADES



La Figura 5 muestra el organigrama establecido para la distribución de tareas del PPDBA.

Cada área tiene un responsable y varios colaboradores.

RESULTADOS ESPERADOS

Confiamos en que la implementación del PPDBA brindará resultados que facilitarán la utilización de diversas técnicas a aplicar a gran escala en el sector de la Salud Pública, de la Seguridad Social y del Sector Prepago para prevenir el desarrollo de la DMT2. Complementariamente, permitirá optimizar el uso de recursos humanos y económicos en todos los subsectores de la salud, disponer de una comunidad más sana y eficiente y mejorar la calidad de vida de la población general.

Agradecimientos. El PPDBA está financiado con un subsidio del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, el CONICET y la empresa Sanofi de Argentina (PID 2012-0051). Sus responsables agradecen a A. Di Maggio por su colaboración en la preparación y edición final del manuscrito.

BIBLIOGRAFÍA

1. Gruber W., Lander T., Leese B., Songer T. y Williams R. (eds.): *The Economics of Diabetes and Diabetes Care. A report of the Diabetes Health Economics Study Group*, Bruselas, International Diabetes Federation, World Health Organization, 1997.
2. Jönsson B.: "The economic impact of diabetes", *Diabetes Care*, 21, Supplement 3, C7-C10, 1998.
3. Ferrante D. y Virgolini M.: "Encuesta Nacional de Factores de Riesgo 2005: resultados principales. Prevalencia de factores de riesgo de enfermedades cardiovasculares en la Argentina", *Revista Argentina de Cardiología*, vol. 75(1), 2007. Versión online ISSN 1850-3748.
4. Ferrante D., Linetzky B., Konfino J., King A., Virgolini M., Laspiur S.: "Encuesta Nacional de Factores de Riesgo 2009: evolución de la epidemia de enfermedades crónicas no transmisibles en Argentina. Estudio de corte transversal", *Revista Argentina de Salud Pública*, vol. 2(6), 34-41, 2011.
5. Gagliardino J. J. y Olivera E.: (1997) "The regions and their health care systems: Latin America", en: Gruber W., Lander T., Leese B., Songer T. y Williams R. (eds.): *The Economics of Diabetes and Diabetes Care. A report of the Diabetes Health Economics Study Group*, Bruselas, International Diabetes Federation, World Health Organization, p. 51-59.
6. The Diabetes Control and Complications Trial Research Group: "The Effect of Intensive Treatment of Diabetes on the Development and Progression of Long-Term Complications in Insulin-Dependent Diabetes Mellitus", *The New England Journal of Medicine*, 329, 977-986, 1993.
7. UK Prospective Diabetes Study (UKPDS) Group: "Intensive blood-glucose control with sulphonylureas or insulin compared with conventional treatment and risk of complications in patients with type 2 diabetes (UKPDS 33)", *Lancet*, vol. 352(9131), 837-853, 1998.
8. Eastman R. C., Javitt J. C., Herman W. H., et al.: "Model of complications of NIDDM II. Analysis of the Health Benefits and Cost-effectiveness of Treating NIDDM with the Goal of Normoglycemia", *Diabetes Care*, 20, 735-744, 1997.
9. Chan J. C., Gagliardino J. J., Baik S. H., et al. for the IDMP5 Investigators: "Multifaceted determinants for achieving glycemic control: the International Diabetes Management Practice Study (IDMPS)", *Diabetes Care*, 32, 227-233, 2009.
10. Gagliardino J. J., Martella A., Etchegoyen G. S., et al.: "Hospitalization and re-hospitalization of people with and without diabetes in La Plata, Argentina: comparison of their clinical characteristics and costs", *Diabetes Research and Clinical Practice*, 65, 51-59, 2004.
11. Olivera E. M., Pérez Duhalde E. y Gagliardino J. J.: "Costs of temporary and permanent disability induced by diabetes", *Diabetes Care*, 14, 593-596, 1991.
12. *Ibid.*
13. Davies M. J., Tringham J. R., Troughton J. y Khunti K. K.: "Prevention of Type 2 diabetes mellitus. A review of the evidence and its application in a UK setting", *Diabet Med*, 21(5), 403-414, 2004.
14. Williamson D. F., Vinicor F. y Bowman B. A.; Centers For Disease Control And Prevention Primary Prevention Working Group: "Primary prevention of type 2 diabetes mellitus by lifestyle intervention: implications for health policy", *Annals of Internal Medicine*, 140(11), 951-957, 2004.
15. U.S. Preventive Services Task Force: "Recommendations and rationale for screening for gestational diabetes mellitus", en *Guide to Clinical Preventive Services*, 3.º ed. Washington, DC, Office of Disease Prevention and Health Promotion, 287-93, 2003.
16. Hayes C. y Kriska A.: "Role of physical activity in diabetes management and prevention". *Journal of the American Dietetic Association*, 108 (4 Suppl 1), S19-23, 2008.
17. Madden S. G., Loeb S. J y Smith C.A.: "An integrative literature review of lifestyle interventions for the prevention of type II diabetes mellitus", *Journal of Clinical Nursing*, 17(17), 2243-2256, 2008.
18. Burnet D. L., Elliott L. D., Quinn M. T., Plaut A. J., Schwartz M. A. y Chin M. H.: "Preventing diabetes in the clinical setting", *Journal of General Internal Medicine*, 21(1), 84-93, 2006.
19. Williamson D. F., Vinicor F. y Bowman B. A.; Centers For Disease Control And Prevention Primary Prevention Working Group, *op. cit.* supra, nota 14.
20. Glümer C., Carstensen B., Sandbaek A., Lauritzen T., Jørgensen T., Borch-Johnsen K.: "A Danish diabetes risk score for targeted screening: the Inter99 study", *Diabetes Care*, 27, 727-733, 2004.
21. Engelgau M. M., Thompson T.J., Smith P.J, et al.: "Screening for diabetes mellitus in adults. The utility of random capillary blood glucose measurements", *Diabetes Care*, 18(4), 463-466, 1995.
22. Guillausseau P.J., Charles M. A., Paolaggi F., et al.: "Comparison of HbA1 and fructosamine in diagnosis of glucose-tolerance abnormalities", *Diabetes Care*, 13(8), 898-900, 1990.
23. Forrest RD, Jackson CA, Yudkin JS.: "The glycohaemoglobin assay as a screening test for diabetes mellitus: the Islington Diabetes Survey", *Diabet Med*, 4(3):254-259, 1987.
24. Hanson R. L., Nelson R. G., McCance D. R., et al.: "Comparison of screening tests for non-insulin-dependent diabetes mellitus", *Archives of Internal Medicine*, 153(18), 2133-2140, 1993.
25. Lindström J. y Tuomilehto J.: "The Diabetes Risk Score. A practical tool to predict type 2 diabetes risk", *Diabetes Care*, 26, 725-731, 2003.
26. Saaristo T., Peltonen M., Lindström J., Saarikoski L., Sundvall J., Eriksson J. y Tuomilehto J.: "Cross-sectional evaluation of the Finnish Diabetes Risk Score: a tool to identify undetected type 2 diabetes, abnormal glucose tolerance and metabolic syndrome", *Diabetes & Vascular Disease Research*, 2, 67-72, 2005.

27. Balkau B., Lange C., Fezeu L., *et al.*: "Predicting diabetes: clinical, biological, and genetic approaches: data from the Epidemiological Study on the Insulin Resistance Syndrome (DESIR)", *Diabetes Care*, 31, 2056-2061, 2008.
28. Hippisley-Cox J., Coupland C., Robson J., Sheikh A. y Brindle P.: "Predicting risk of type 2 diabetes in England and Wales: prospective derivation and validation of QDScore", *BMJ*, 338: b880, 2009.
29. Griffin S. J., Little P. S., Hales C. N., Kinmonth A. L. y Wareham N. J.: "Diabetes risk score: towards earlier detection of type 2 diabetes in general practice", *Diabetes/Metabolism Research Reviews*, 16, 164-171, 2000.
30. Schmidt M. I., Duncan B. B. y Bang H., *et al.*: "The Atherosclerosis Risk in Communities Investigators. Identifying individuals at high risk for diabetes: The Atherosclerosis Risk in Communities Study", *Diabetes Care*, 28, 2013-2018, 2005.
31. Ramachandran A., Snehalatha C., Vijay V., Wareham N. J. y Colagiuri S.: "Derivation and validation of diabetes risk score for urban Asian Indians", *Diabetes Research and Clinical Practice*, 70, 63-70, 2005.
32. Aekplakorn W., Bunnag P., Woodward M., *et al.*: "A risk score for predicting incident diabetes in the Thai population", *Diabetes Care*, 29, 1872-1877, 2006.
33. Al-Lawati J. A. y Tuomilehto J.: "Diabetes risk score in Oman: a tool to identify prevalent type 2 diabetes among Arabs of the Middle East", *Diabetes Research and Clinical Practice*, 77, 438-444, 2007.
34. Schwarz P. E., Li J., Lindstrom J. y Tuomilehto J.: "Tools for predicting the risk of type 2 diabetes in daily practice", *Hormone and Metabolic Research*, 41, 86-97, 2009.
35. Glümer C., Vistisen D., Borch-Johnsen K. y Colagiuri S.: "Risk scores for type 2 diabetes can be applied in some populations but not all", *Diabetes Care*, 29(2), 410-414, 2006.
36. Wareham N. J., Griffin S. J.: "Should we screen for type 2 diabetes? Evaluation against National Screening Committee criteria", *BMJ*, 322(7292), 986-988, 2001.
37. Eborall H., Davies R., Kinmonth A. L., Griffin S. y Lawton J.: "Patients' experiences of screening for type 2 diabetes: prospective qualitative study embedded in the ADDITION (Cambridge) randomised controlled trial", *BMJ*, 335(7618), 490-496, 2007.
38. Wylie G., Hungin A. P. y Neely J.: "Impaired glucose tolerance: qualitative and quantitative study of general practitioners' knowledge and perceptions", *BMJ*, 324(7347), 1190-1196, 2002.
39. Domenighetti G., Grilli R. y Maggi J. R.: "Does provision of an evidence-based information change public willingness to accept screening tests?", *Health Expectations*, 3(2), 145-150, 2000.
40. Raffle A. E.: "Information about screening - is it to achieve high uptake or to ensure informed choice?", *Health Expectations*, 4(2), 92-98, 2001.
41. Farmer A. J., Doll H., Levy J. C. y Salkovskis P. M.: "The impact of screening for Type 2 diabetes in siblings of patients with established diabetes", *Diabetic Medicine*, 20(12), 996-1004, 2003.
42. Harris S. B. y Zinman B.: "Primary prevention of type 2 diabetes in high-risk populations", *Diabetes Care*, 23(7), 879-881, 2000.
43. Hussain A., Claussen B., Ramachandran A. y Williams R.: "Prevention of type 2 diabetes: a review", *Diabetes Research and Clinical Practice*, 76(3), 317-326, 2007.
44. Olivera E. M., Pérez Duhalde E. y Gagliardino J. J., *op. cit.* supra nota 11.
45. Eriksson K. F. y Lindgärde F.: "Prevention of type 2 (non-insulin-dependent) diabetes mellitus by diet and physical exercise. The 6-year Malmö feasibility study", *Diabetologia*, 34(12), 891-898, 1991.
46. Burnet D. L., Elliott L. D., Quinn M. T., Plaut A. J., Schwartz M. A. y Chin M. H., *op. cit.* supra, nota 18.
47. Pan X. R., Li G. W., Hu Y. H., *et al.*: "Effects of diet and exercise in preventing NIDDM in people with impaired glucose tolerance. The Da Qing IGT and Diabetes Study", *Diabetes Care*, 20(4), 537-544, 1997.
48. Lindström J., Louheranta A., Mannelin M., *et al.*, Finnish Diabetes Prevention Study Group, The Finnish Diabetes Prevention Study (DPS): "Lifestyle intervention and 3-year results on diet and physical activity", *Diabetes Care*, 26(12), 3230-3236, 2003.
49. The Diabetes Prevention Program: "Design and methods for a clinical trial in the prevention of type 2 diabetes", *Diabetes Care*, 22(4), 623-634, 1999.
50. Ramachandran A., Snehalatha C., Mary S., Mukesh B., Bhaskar A. D., Vijay V.; Indian Diabetes Prevention Programme (IDPP): "The Indian Diabetes Prevention Programme shows that lifestyle modification and metformin prevent type 2 diabetes in Asian Indian subjects with impaired glucose tolerance (IDPP-1)", *Diabetologia*, 49, 289-297, 2006.
51. Kilkkinen A., Heistaro S., Laatikainen T., *et al.*: "Prevention of type 2 diabetes in a primary health care setting. Interim results from the Greater Green Triangle (GGT) Diabetes Prevention Project", *Diabetes Research and Clinical Practice*, 76(3), 460-462, 2007.
52. Oldroyd J. C., Unwin N. C., White M., Mathers J. C. y Alberti K. G.: "Randomised controlled trial evaluating lifestyle interventions in people with impaired glucose tolerance", *Diabetes Research and Clinical Practice*, 72(2), 117-127, 2006.
53. Eriksson K. M., Westborg C. J. y Eliasson M. C.: "A randomized trial of lifestyle intervention in primary healthcare for the modification of cardiovascular risk factors", *Scandinavian Journal of Public Health*, 34(5), 453-461, 2006.
54. Li G., Zhang P., Wang J., *et al.*: "The long-term effect of lifestyle interventions to prevent diabetes in the China Da Qing Diabetes Prevention Study: a 20-year follow-up study", *Lancet*, 371(9626), 1783-1789, 2008.
55. Lindström J., Ilanne-Parikka P., Peltonen M., *et al.*; Finnish Diabetes Prevention Study Group: "Sustained reduction in the incidence of type 2

diabetes by lifestyle intervention: follow-up of the Finnish Diabetes Prevention Study”, *Lancet*, 368(9548), 1673-1679, 2006.

56. Madden S. G., Loeb S. J y Smith C. A., *op. cit.* supra, nota 17.

57. The Diabetes Prevention Program, *op. cit.* supra, nota 49.

58. Fontbonne A., Charles M. A., Juhan-Vague I., *et al.*: “The effect of metformin on the metabolic abnormalities associated with upper-body fat distribution”, *Diabetes Care*, 19, 920-926, 1996.

59. Ratner R. E., Christophi C. A., Metzger B. E., *et al.*; The Diabetes Prevention Program Research Group: “Prevention of diabetes in women with a history of gestational diabetes: effects of metformin and lifestyle interventions”, *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 93, 4774-4779, 2008.

60. Hess A. M. y Sullivan D. L.: “Metformin for prevention of type 2 diabetes”, *The Annals of Pharmacotherapy*; 38(7-8), 1283-1285, 2004.

61. Lilly M. y Godwin M.: “Treating prediabetes with metformin. Systematic review and meta-analysis”, *Canadian Family Physician*, 55, 363-369, 2009.

62. Hanefeld M., Karasik A., Koehler C., Westermeier T. y Chiasson J. L.: “Metabolic syndrome and its single traits as risk factors for diabetes in people with impaired glucose tolerance: the STOP-NIDDM trial”, *Diabetes and Vascular Disease Research*, 6(1), 32-37, 2009.

63. Chiasson J. L., Gomis R., Hanefeld M., Josse R. G., Karasik A. y Laakso M.: “The STOP-NIDDM Trial: an international study on the efficacy of an alpha-glucosidase inhibitor to prevent type 2 diabetes in a population with impaired glucose tolerance: rationale, design, and preliminary screening data. Study to Prevent Non-Insulin-Dependent Diabetes Mellitus”, *Diabetes Care*, 21(10), 1720-1725, 1998.

64. Chiasson J. L., Josse R. G., Gomis R., Hanefeld M., Karasik A., Laakso M.; STOP-NIDDM Trial Research Group: “Acarbose for prevention of type 2 diabetes mellitus: the STOP-NIDDM randomised trial”, *Lancet*, 359(9323), 2072-2077, 2002.

65. Kawamori R., Tajima N., Iwamoto Y., Kashiwagi A., Shimamoto K., Kaku K.; Voglibose Ph-3 Study Group: “Voglibose for prevention of type 2 diabetes mellitus: a randomised, double-blind trial in Japanese individuals with impaired glucose tolerance”, *Lancet*, 373(9675), 1607-1614, 2009.

66. *Ibid.*

67. Knowler W. C., Hamman R. F., Edelstein S. L., *et al.*; Diabetes Prevention Program Research Group: “Prevention of type 2 diabetes with troglitazone in the Diabetes Prevention Program. Diabetes”, 54(4), 1150-1156, 2005.

68. Gerstein H. C., Yusuf S., Bosch J., *et al.*; DREAM (Diabetes REduction Assessment with ramipril and rosiglitazone Medication) Trial Investiga-

tors: “Effect of rosiglitazone on the frequency of diabetes in patients with impaired glucose tolerance or impaired fasting glucose: a randomised controlled trial”, *Lancet*, 368(9541), 1096-1105, 2006.

69. Ramachandran A., Snehalatha C., Mary S., *et al.*: “Pioglitazone does not enhance the effectiveness of life style modification in preventing conversion of impaired glucose tolerance to diabetes in Asian Indians: resultado of the Indian Diabetes Prevention Program-2 (IDPP-2)”, *Diabetologia*, 52, 1019-1026, 2009.

70. Lindgren P., Lindström J., Tuomilehto J., Uusitupa M., Peltonen M., Jöns-son B., de Faire U., Hellénius M. L; DPS Study Group: “Lifestyle intervention to prevent diabetes in men and women with impaired glucose tolerance is cost-effective”, *International Journal of Technology Assessment in Health Care*, 23(2), 177-183, 2007.

71. Li R., Zhang P., Barker L. E., Chowdhury F. M., Zhang X.: “Cost-effectiveness of interventions to prevent and control diabetes mellitus: a systematic review”, *Diabetes Care*, 33(8), 1872-1894, 2010.

72. Herman W. H., Edelstein S. L., Ratner R. E., Montez M. G., Ackermann R. T., Orchard T. J., Foulkes M. A., Zhang P., Saudek C. D., Brown B.; Diabetes Prevention Program Research Group: “Effectiveness and cost-effectiveness of diabetes prevention among adherent participants”, *The American Journal of Managed Care*, 19(3), 194-202, 2013.

73. Watson P., Preston L., Squires H., Chilcott J. y Brennan A.: “Modelling the Economics of Type 2 Diabetes Mellitus Prevention: A Literature Review of Methods”, *Applied Health Economics and Health Policy*, 12(3), 239-253, 2014.

74. Norinder A. A., Persson U., Nilsson P., Nilsson J. A., Hedblad B., Berglund G.: “Costs for screening, intervention and hospital treatment generated by the Malmö Preventive Project: a large-scale community screening programme”, *Journal of Internal Medicine*, 251, 44-52, 2002.

75. *Agenda de Salud para las Américas 2008-2017*. Presentada por los Ministros de Salud de las Américas en la Ciudad de Panamá, junio de 2007, [en línea], http://www1.paho.org/hq/dmdocuments/2009/Agenda_Salud_para_las_Americas_2008-2017.pdf

76. Lindström J. y Tuomilehto J., *op. cit.*, supra, nota 25.

77. Saaristo T., Peltonen M., Lindström J., Saarikoski L., Sundvall J., Eriksson J. y Tuomilehto J., *op. cit.*, supra, nota 26.

78. Lindström J. y Tuomilehto J., *op. cit.*, supra, nota 25.

Juan J. Gagliardino es investigador superior del CONICET, profesor consulto de la Facultad de Ciencias Médicas de la Universidad Nacional de La Plata y director del CENEXA (Centro de Endocrinología Experimental y Aplicada), UNLP, CONICET La Plata.

DE LAS LEYES DE NEWTON A LA GUERRA DE TROYA

ÁNGEL R. PLASTINO

La publicación en 1687 del libro *Philosophia Naturalis Principia Mathematica* por Issac Newton marcó un importante hito en la historia del pensamiento humano. Sobre la base de tres sencillos principios de movimiento y de la ley de gravitación universal, y mediante razonamientos matemáticos, Newton logró explicar y unificar dentro de un esquema conceptual coherente una gran cantidad de fenómenos naturales: el movimiento de los planetas, las mareas, la forma de la Tierra, entre otros. Más aún, Newton mostró que los principios que rigen el movimiento de los astros también son válidos en el ámbito terrestre. Las mismas leyes que determinan, por ejemplo, el movimiento de la Luna también se aplican a las balas de cañón. La mecánica newtoniana no dio solamente una explicación cualitativa de estos fenómenos. Los métodos matemáticos empleados por Newton permitieron hacer predicciones cuantitativas precisas que podían contrastarse con la observación y con la experimentación.

Los científicos que continuaron desarrollando la mecánica newtoniana cosecharon éxitos de creciente espectacularidad. En 1705 Edmund Halley publicó el libro *A Synopsis of the Astronomy of Comets*, en el que, aplicando la teoría newtoniana, predijo la fecha del retorno del cometa que hoy lleva su nombre; predicción que se cumplió exitosamente en 1758. En 1845 el astrónomo inglés John Couch Adams e, independientemente, el astrónomo francés Urbain Le Verrier, a partir del análisis de pequeñas anomalías en el movimiento de Urano, predijeron la existencia de un planeta hasta entonces desconocido. El análisis matemático llevado a cabo por estos investigadores fue tan preciso que les permitió predecir a qué lugar del cielo (y en qué momento) los astrónomos debían apuntar sus telescopios para poder ver el nuevo planeta. Este planeta, hoy llamado Neptuno, fue finalmente observado en 1846 en el sitio indicado en Berlín por los cálculos teóricos. El descubrimiento de Neptuno, realizado utilizando básicamente lápiz y papel, constituye una hazaña intelectual que aun hoy nos sigue asombrando.

Dos aspectos fundamentales de la obra de Newton fueron, por un lado, la explicación unificada de un conjunto diverso de fenómenos dentro de un mismo marco teórico y, por el otro, el desarrollo de poderosas técnicas matemáticas para el estudio cuantitativo de esos fenómenos. El impacto de la obra de Newton en el mundo intelectual de su época fue enorme. Pensadores fuera del ámbito de la física y de la astronomía pronto comenzaron a especular sobre la posibilidad de un enfoque similar al newtoniano para las disciplinas humanas, como la historia, la política o incluso la ética.

Algunos pensadores tomaron la ciencia newtoniana como el modelo al que otras disciplinas debían aspirar, tanto en su carácter unificador como en su aspecto cuantitativo. Aquí nos referimos a las “disciplinas humanas”, “ciencias humanas” o “humanidades” en un sentido muy amplio que incluye la psicología, la historia, la sociología, la economía, las ciencias políticas, etc. El sueño de una “ciencia newtoniana del hombre” no se concretó. La razón básica por la que este sueño no pudo materializarse es que los fenómenos estudiados por las ciencias humanas son muchísimo más complejos que los estudiados por Newton o, en general, que los fenómenos estudiados por la física o la astronomía.

La biología, que en última instancia constituye la base del comportamiento humano, estudia sistemas y procesos mucho más complejos que la física. Un gato o incluso una célula están considerablemente más arriba en la escala de complejidad que una estrella. Y el cerebro humano es el sistema más complejo que se conoce. A pesar de lo arduo de la tarea, a lo largo de la historia ha habido investigadores que no se desalentaron e intentaron emplear métodos matemáticos similares a los utilizados en la física para estudiar diversos aspectos de las ciencias humanas. Estas líneas de investigación han mostrado un florecimiento en tiempos recientes. Numerosos investigadores provenientes de las matemáticas, la física u otras ciencias afines están aplicando sus conocimientos al estudio de la biología y de las disciplinas humanas. Las fronteras tradicionales entre las ciencias se desdibujan y surgen nuevas especialidades.

El objetivo de este breve artículo es ilustrar mediante algunos ejemplos el enfoque “físico-matemático” de problemas en las ciencias humanas. Este trabajo no constituye una revisión de la investigación llevada a cabo en esta área, ni a nivel internacional ni en nuestro país (donde se han logrado excelentes aportes a estos temas). Nuestro propósito es solamente comentar algunos ejemplos de trabajos realizados en esta dirección, en nuestro país y en el exterior.

ABRAHAM LINCOLN, LAS HACHAS Y LOS MODELOS MATEMÁTICOS

Una estrategia importante en la aplicación de métodos de la matemática y de la física a las ciencias humanas es la construcción y análisis de modelos matemáticos para sistemas o procesos sociales. Un modelo matemático usualmente describe un sistema simplificado o idealizado que captura algunos aspectos esenciales del problema a estudiar, pero descarta gran cantidad de detalles. Uno de los principales objetivos de un modelo matemático es esclarecer la lógica básica de los razonamientos concernientes a las propiedades del sistema o proceso bajo consideración. Es decir, el modelo permite determinar si las conclusiones de un argumento realmente se desprenden de sus premisas. Esta idea básica puede ilustrarse mediante un sencillo ejemplo (que en realidad no concierne a un sistema o proceso social, pero que es útil a efectos ilustrativos).

Se le atribuye a Abraham Lincoln la siguiente frase: “Si me dieran una hora para talar un árbol emplearía los primeros cincuenta minutos en afilar el hacha”. Este consejo tiene el “aura” de una pequeña, pero profunda, muestra de sabiduría y cuenta con el inmenso prestigio de su autor. Pero ¿será un buen consejo? Como suele ocurrir, los argumentos puramente verbales no parecen ser conclusivos. Se puede argumentar que, invirtiendo la mayor parte del tiempo disponible en afilar el hacha, se conseguirá un mejor instrumento que permitirá durante los últimos minutos hachar mucha madera. Por otra parte, cuanto más tiempo se emplee en afilar el hacha, menos tiempo quedará para talar el árbol. No está claro si el consejo de Lincoln es bueno o no. Un sencillo “modelo” matemático nos permite precisar las hipótesis subyacentes en este problema y clarificar su estructura lógica. Llamemos T al tiempo empleado en afilar el hacha.

Si medimos el tiempo en horas, este número T estará comprendido entre 0 y 1. Hagamos ahora dos suposiciones. Por un lado, supongamos que la “eficacia” del hacha es proporcional al tiempo empleado en afilarla. Es decir, supondremos que la eficacia está dada por el producto AxT , entre el tiempo T y un cierto número constante A . Por el otro, supongamos que la cantidad de madera hachada, designada por M , es proporcional a la “eficacia” del hacha (AxT) y al tiempo durante el que se procede a hachar (en nuestro caso, el tiempo restante, $1-T$). De modo que, de acuerdo con nuestro modelito, la cantidad de madera talada estará dada por

$$M = A \times T \times (1-T)$$

Ahora, nuestra pregunta inicial se traduce en determinar el valor de T (tiempo de “afilado”) que maximiza la función matemática $T \times (1-T)$. No es difícil comprobar que esta función adopta su máximo valor en $T=0.5$ (es decir, media hora). Esto significa que, de acuerdo con nuestras premisas, la solución óptima al problema de Lincoln consiste en emplear la mitad del tiempo disponible en afilar el hacha.

A diferencia de lo que acontece con algunos argumentos verbales, el argumento anterior, basado en un “modelo” matemático, es transparente. Podemos estar seguros de que las conclusiones se desprenden de las premisas. Por supuesto que las premisas pueden ser incorrectas o el modelo puede ser demasiado sencillo para capturar todos los ingredientes relevantes del problema en cuestión. En nuestro caso, por ejemplo, podría ocurrir que la “eficacia” del hacha no sea simplemente proporcional al tiempo empleado en afilarla. Efectos que no fueron tenidos en cuenta en el modelo pueden ser esenciales para entender realmente el problema. Por ejemplo, no tuvimos en cuenta que el hacha se desafilaba o que el hachero se cansa a medida que va hachando el árbol.

Es posible que, perfeccionando el modelo, resulte que, después de todo, Lincoln tenía razón. Estas posibles deficiencias, sin embargo, no le quitan valor al modelo en cuanto herramienta conceptual para clarificar el

análisis del problema. La mera formulación de un modelo matemático, aunque preliminar o incompleto, suele por sí misma sugerir posibles direcciones para su perfeccionamiento. Al explicitar las hipótesis empleadas y el proceso deductivo que conduce a las conclusiones, el análisis de un modelo concreto también pone de relieve los aspectos del problema que no fueron incluidos en él.

ESTADOS ANÍMICOS DEPRESIVOS

Veamos ahora un ejemplo reciente de un trabajo de investigación en el área de la psicología evolutiva, en el que un modelo matemático clarifica las ambigüedades de los argumentos verbales. En esta sección comentaremos un trabajo del investigador Daniel Nettle, del Institute of Neuroscience, Newcastle University, en el Reino Unido, sobre los aspectos adaptativos de los estados anímicos depresivos.¹

Los estados anímicos depresivos (*low moods*) son estados emocionales temporarios de los seres humanos usualmente asociados a la desmotivación, el desinterés, la fatiga y el pesimismo. Si estos estados anímicos se vuelven extremos o prolongados en el tiempo, se denominan “depresión clínica”. Psicólogos teóricos han sugerido que las características de fatiga, desmotivación y pesimismo asociadas a los estados anímicos depresivos pueden, en términos evolutivos, tener una ventaja adaptativa. Según esta teoría, los estados anímicos depresivos estarían vinculados con situaciones desfavorables en las que a las personas les conviene evitar emprender acciones riesgosas. Los estados anímicos depresivos serían, entonces, una respuesta adaptativa a las circunstancias desfavorables y las características de desmotivación, fatiga y pesimismo serían un mecanismo para minimizar la probabilidad de incurrir en riesgos hasta que las circunstancias mejoren.

Por lo tanto, las características de los estados anímicos negativos tendrían una explicación evolutiva: sería una adaptación ventajosa evitar comportamientos arriesgados cuando la situación es adversa y cuando, en consecuencia, los posibles costos de esos comportamientos no se pueden asumir. Nettle ha propuesto recientemente un modelo matemático para analizar el posible valor adaptativo de los estados anímicos negativos.²

Nettle enfatiza que los argumentos puramente verbales no son concluyentes en este sentido. La idea de que, ante una situación adversa, es conveniente una actitud pasiva a efectos de evitar males mayores hasta que la situación mejore es ciertamente plausible. Sin embargo, es igualmente razonable defender la idea opuesta y argumentar que, ante circunstancias desfavorables, hay que tomar acciones más arriesgadas, procurando así mejorar la situación. Nettle desarrolló un modelo matemático con premisas claras para analizar este problema y llegó a algunas conclusiones.

En condiciones extremadamente adversas, es conveniente adoptar comportamientos riesgosos, pues lo prioritario es salir de esas circunstancias extremas. Por otra parte, en circunstancias desfavorables, pero no extremas, es conveniente no incurrir en riesgos. En este sentido, el modelo de Nettle apoya la explicación evolutiva de las propiedades de los estados anímicos depresivos. Curiosamente, el modelo de Nettle también predice que, en circunstancias favorables, vuelve a ser conveniente incurrir en riesgos y que el grado “óptimo” de riesgo crece gradualmente con la bonanza de la situación. Es importante mencionar que esta nueva predicción surge naturalmente del modelo y que va un paso más allá de la cuestión concreta que inicialmente se pretendía esclarecer al construir el modelo. Esto ilustra el hecho de que un buen modelo matemático usualmente proporciona más información de la que en un principio se buscaba al formularlo.

DINÁMICA NO LINEAL Y LA GUERRA DE TROYA

La guerra de Troya constituye el evento histórico más famoso de la Edad de Bronce, inseparablemente vinculado con la *Iliada*, el primer gran monumento de la literatura occidental. Recientemente, César Flores y Mauro Bologna, del Instituto de Investigación Multidisciplinar AIA de la Universidad de Arica, Chile, han propuesto un modelo dinámico no lineal para analizar algunos aspectos de la guerra de Troya.³

Los sistemas dinámicos continuos, basados en ecuaciones diferenciales, juegan un papel central en la física, la astronomía y otras disciplinas. Las ideas básicas para el estudio de los sistemas dinámicos fueron introducidas por Newton en el contexto de la mecánica celeste. Las técnicas matemáticas involucradas fueron desarrolladas por los sucesores de Newton, alcanzándose un alto grado de sofisticación. A principios del siglo XX, el matemático y físico-químico norteamericano Alfred James Lotka e, independientemente, el matemático italiano Vito Volterra, aplicaron este tipo de enfoque a la biología.

Estos investigadores analizaron un problema en dinámica de poblaciones biológicas, con dos especies interactuantes: una especie de depredadores y una especie de presas. Lotka y Volterra plantearon un modelo

matemático basado en un sistema apropiado de ecuaciones diferenciales para estudiar la evolución en el tiempo de la población de depredadores y de la población de presas. El origen de las ecuaciones del modelo Lotka-Volterra, también denominado “modelo depredador-presa”, proviene de un trabajo realizado por Lotka en 1910 sobre reacciones químicas autocatalíticas. Posteriormente, en 1920, Lotka aplicó a un problema biológico técnicas similares a las que había empleado en el estudio de reacciones químicas, desarrollando un modelo matemático para la dinámica de un sistema constituido por una especie vegetal (la “presa”) y una especie de animal herbívoro (el “depredador”). De manera independiente, Volterra propuso en 1926 básicamente el mismo modelo para estudiar las estadísticas de pesca en el mar Adriático. Los modelos tipo Lotka-Volterra en dinámica de poblaciones han sido intensivamente investigados y aplicados al estudio de multitud de problemas biológicos, generándose una vasta literatura científica. Esta clase de modelos también han sido aplicados en economía.

El modelo dinámico para la guerra de Troya propuesto por Flores y Bologna (FB) está basado en ecuaciones similares a las empleadas en el estudio de dinámica de poblaciones en biología. En el caso del modelo FB, las dos “especies” interactuantes son los guerreros del ejército griego y los guerreros y la población troyanos. Un aspecto importante de las ecuaciones dinámicas propuestas por FB, compartida por muchos modelos en dinámica de poblaciones biológicas, es su carácter no lineal. Esto significa que la suma (“superposición”) de dos soluciones de las ecuaciones FB no constituye una nueva solución. Los sistemas dinámicos gobernados por ecuaciones diferenciales no lineales son, en general, difíciles de analizar y muestran una gran riqueza de comportamientos posibles. El estudio de estos sistemas constituye un vasto campo de investigación en el que trabajan matemáticos, físicos, biólogos teóricos, economistas y expertos en otras disciplinas. El trabajo de Flores y Bologna es un interesante ejemplo que ilustra cómo las ideas originadas en un área del conocimiento pueden ser fructíferamente empleadas en un campo completamente distinto y aparentemente desconectado del primero.

FÍSICA ESTADÍSTICA Y CIENCIAS HUMANAS

La aplicación a las ciencias humanas de métodos de la física teórica, en especial, de la física estadística, exhibe otra faceta diferente de la construcción de modelos matemáticos. Los avances en la tecnología informática han abierto un vasto campo de investigación en lo que respecta al análisis de bases de datos digitales referentes a temas muy diversos: desde las estadísticas electorales en distintos países hasta las propiedades estadísticas de obras musicales o literarias. Los dos desarrollos tecnológicos relevantes para estas nuevas líneas de trabajo son la posibilidad de tener alto poder computacional a bajo costo y el acceso electrónico (en muchos casos libre a través de Internet) a un número creciente de bases de datos. Analizando estos datos mediante técnicas estadísticas —algunas provenientes de la física estadística— es posible descubrir estructuras o patrones subyacentes en los datos, que arrojan luz sobre las propiedades de los sistemas o procesos descritos por esos datos. A continuación comentaremos algunos ejemplos recientes de este tipo de estudios.

Renio Mendes y su grupo de investigación en el Departamento de Física de la Universidad de Maringa, Brasil, han aplicado métodos de la física al análisis de estadísticas electorales en Brasil.⁴ Mendes estudió las estadísticas electorales de 5564 ciudades en Brasil empleando datos electorales de libre acceso provistos por la Suprema Corte Electoral de Brasil y datos demográficos provistos por el Instituto Brasileiro de Geografía y Estadística. Mendes y sus colaboradores investigaron la relación existente entre la población de votantes (cantidad de personas en los padrones electorales) de una ciudad y el grado de participación o compromiso de la comunidad en el proceso político, medido por el número total de afiliados, en cada ciudad, a cada uno de los veintisiete partidos políticos de Brasil.

Mendes y su grupo también estudiaron la relación entre la población de votantes de una ciudad y el número medio de candidatos a diferentes cargos electivos, por ejemplo, intendente. Estos estudios muestran evidencia convincente de que existe una ley matemática concreta —más explícitamente, una ley de potencias— que vincula el número de votantes de una ciudad con las otras cantidades arriba mencionadas. Este trabajo ilustra varios puntos importantes. Primero, el hecho de que se disponga de una gran masa de datos concernientes a un número apreciable de ciudades (5564) permite realizar un análisis estadístico confiable y determinar si estos datos responden a leyes cuantitativas determinadas. En segundo lugar, un estudio como el de Mendes no involucra ningún modelo teórico. Se trata de un análisis directo de los datos reales. Este tipo de estudios constituye una etapa previa a la construcción de modelos. Las ideas teóricas que los investigadores proponen para entender un determinado fenómeno pueden variar con el tiempo, pero las propiedades de los datos concretos dilucidadas por estudios como el de Mendes tienen un valor intrínseco que, en buena medida, es independiente de los prejuicios teóricos. Otro aspecto notable de este trabajo es la aparición de leyes de potencia en los datos electorales. Este tipo de leyes de potencia aparece en el estudio de los fenómenos más diversos, como por ejemplo en la estadística de las intensidades de los terremotos. La presencia de leyes de potencia constituye uno de los rasgos típicos de los llamados “sistemas complejos”, cuyo estudio es hoy uno de los campos más activos de la física y otras disciplinas afines.

Otros ejemplos de enfoques físico-matemáticos de fenómenos humanos que mencionaremos a continuación involucran el concepto de “medida de complejidad”. Como ya mencionamos, los sistemas y procesos estudiados por la biología y por las ciencias humanas son, en general, mucho más complejos que los tradicionalmente estudiados por la física. Una pregunta que ha intrigado a muchos investigadores es si existe una forma “natural” de caracterizar cuantitativamente el grado de complejidad de un sistema dado. En 1995 los investigadores R. López-Ruiz, H.L. Mancini y X. Calbet (LMC) propusieron una medida cuantitativa de complejidad estadística que muestra algunas características interesantes.⁵ La medida de complejidad LMC se evalúa en una distribución de probabilidades que describe al sistema considerado. Esta medida captura algunos aspectos de lo que intuitivamente se espera de una medida cuantitativa de complejidad. Es razonable que un sistema descrito por una distribución de probabilidades uniforme, en el que todos los posibles estados del sistema son equiprobables, tenga complejidad igual a cero. Por otro lado, el otro caso extremo, correspondiente a la certeza completa, en el que el sistema considerado tiene un estado con probabilidad 1 y todos los demás estados con probabilidad 0, también es considerado de complejidad nula. La medida LMC satisface esos dos criterios. Sin embargo, una medida razonable de complejidad debe cumplir con otros requisitos además de anularse en los casos extremos de equiprobabilidad y de certeza.

El primer trabajo en el que se exploraron otras propiedades de la medida LMC fue realizado en 1996 por Celia Anteneodo (entonces investigadora del Instituto de Biofísica de la Universidad Federal de Río de Janeiro) y por mí.⁶ En ese trabajo investigamos si la medida LMC satisfacía otras propiedades vinculadas al concepto de complejidad. Mostramos que la medida LMC no cumplía con ciertas propiedades básicas que uno podría esperar de una medida de complejidad. En particular, la medida LMC no satisfacía algunas reglas básicas de invariancia. Por ejemplo, la medida LMC no era invariante frente a “duplicaciones” del sistema considerado. Es decir, si uno considera un sistema constituido por dos copias idénticas de otro sistema, la complejidad del nuevo sistema, de acuerdo con la medida LMC, no resulta ser igual a la complejidad del sistema original. Otros investigadores ya habían puesto de manifiesto que una medida aceptable de complejidad debe satisfacer estas reglas de invariancia. Aunque de naturaleza crítica, creemos que nuestro trabajo constituyó un estímulo para que otros investigadores se interesaran por la medida LMC y continuaran analizando sus propiedades y posibles aplicaciones. Posteriormente, se propusieron diferentes variantes de la medida LMC (que aquí denominaremos “medidas de complejidad tipo LMC”), las cuales “curaban” algunas de las deficiencias de la medida LMC original propuesta por López-Ruiz, Mancini y Calbet.⁷

Varios grupos de investigación, particularmente en Argentina, España y Brasil, han explorado diversas aplicaciones de las medidas de complejidad tipo LMC. Luciano Zunino del Centro de Investigaciones Ópticas (CIOP) de Argentina, en colaboración con investigadores de la Universidad de Maringá, Brasil, han realizado un fascinante estudio de la complejidad estadística de ciertas obras musicales.⁸ Este es otro interesante ejemplo de las nuevas líneas de investigación que han sido abiertas por la existencia de enormes bases digitales de datos.

Zunino y colaboradores analizaron una base digital de datos de más de 10 000 piezas musicales, a efectos de establecer una jerarquía cuantitativa de la complejidad de estas obras. A la serie temporal correspondiente a la señal acústica digitalizada de cada tema le evaluaron dos cantidades: una medida de complejidad tipo LMC y una medida entrópica (esta última mide básicamente el grado de “aleatoriedad” asociado a la serie temporal). De este modo, a cada pieza musical le corresponde un punto en un plano abstracto complejidad-entropía (plano C-E). Zunino y colaboradores procesaron los datos correspondientes a 10 124 piezas distribuidas en diez géneros musicales diferentes, incluidos el género clásico, el jazz, el tango, el flamenco y otros. Las piezas correspondientes a diferentes géneros caen en diferentes regiones del plano E-C. Sin embargo, se observan solapamientos entre los géneros, lo que muestra que las fronteras entre ellos son difusas. Por ejemplo, existe un solapamiento entre los géneros clásico y jazz. Las piezas de música clásica y las de jazz tienden a exhibir mayor complejidad y menor grado entrópico, mientras que, por ejemplo, los temas del género “tecno” tienden a caer en una región del plano C-E correspondiente a menor complejidad y mayor entropía.

Zunino y sus colaboradores sugieren que este estudio de piezas musicales mediante el plano C-E puede tener aplicaciones prácticas en el desarrollo de algoritmos para la clasificación automática de piezas musicales por géneros. El plano complejidad-entropía también ha sido empleado en el estudio de obras literarias. Osvaldo Rosso, del Instituto de Cálculo de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires, en colaboración con Hugh Craig y Pablo Moscato, de la Universidad de Newcastle, Australia, aplicaron el plano C-E al análisis de las obras de Shakespeare y de otros autores ingleses del Renacimiento.⁹

COMENTARIOS FINALES

Hemos comentado varios ejemplos de esfuerzos recientes, realizados por investigadores de nuestro país y del exterior, que han intentado aplicar técnicas físico-matemáticas al estudio de las disciplinas humanísticas,

entendidas en sentido amplio, lo cual incluye campos como la psicología, la historia y las artes. Este artículo no aspira a ser una revisión del trabajo reciente llevado a cabo en estas líneas de investigación, que ya es voluminoso tanto en nuestro país como en el extranjero. Solo pretendemos mostrar algunos ejemplos que ilustran aspectos esenciales de este tipo de enfoques, esperando despertar la curiosidad de los lectores y estimularlos a consultar la literatura original aquí citada.

En particular, estos ejemplos ponen de manifiesto el notable hecho de que muchos investigadores provenientes de la física estén conduciendo investigaciones de carácter multidisciplinario, en las que ideas y métodos provenientes de la física teórica son aplicados al estudio de diversos fenómenos humanos, desde el análisis de las propiedades estadísticas de los procesos electorales hasta el estudio de la relación entre los distintos géneros musicales.

Las técnicas físico-matemáticas empleadas en estos estudios multidisciplinarios provienen en su mayoría (pero no exclusivamente) de la teoría de los sistemas dinámicos y de la física estadística. Prestigiosas revistas de investigación en física, como *Physica A* o *Physical Review E*, están publicando un número creciente de trabajos referidos a problemas de las ciencias humanas. Por ejemplo, en la página web de la revista *Physica A* se dice que esa revista publica artículos de investigación sobre mecánica estadística y sus aplicaciones, incluidas “otras aplicaciones interdisciplinarias a sistemas biológicos, económicos o sociológicos, por ejemplo”.

Todo esto es evidencia de que las fronteras entre las disciplinas tradicionales se están volviendo fluidas y que se está produciendo un continuo y fértil intercambio de ideas y métodos entre las distintas áreas del conocimiento. Hoy ya no es sorprendente que un matemático o un físico trabajen en un departamento de biología, o que un economista publique un artículo en una revista de física. Los ejemplos discutidos en este artículo ilustran dos aspectos de la aplicación de métodos físico-matemáticos a las humanidades.

Por un lado, el desarrollo de modelos matemáticos contribuye a la transparencia de los razonamientos empleados al analizar las propiedades de diversos sistemas o procesos. Estos modelos también permiten identificar nuevos aspectos de los sistemas estudiados. Por otra parte, la actual disponibilidad de gran poder de cómputo a bajo costo y la existencia de enormes bases de datos digitales concernientes a los más diversos temas han abierto vastos campos de investigación basados en la aplicación de técnicas de la física estadística al estudio de diferentes aspectos de las humanidades.

BIBLIOGRAFÍA:

1. Nettle, Daniel: “An Evolutionary Model for Low Mood States”, *Journal of Theoretical Biology*, 257, n.º 1, 2009, 100-103.
2. *ibid.*
3. Flores, Juan César y Bologna, Mauro: “Troy: A Simple Nonlinear Mathematical Perspective”, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 392, n.º 19, 2013, 4683-4687.
4. Mantovani, M. C., Ribero, H. V., Lenzi, E. K., Picoli Jr., S. y Mendes, R. S.: “Engagement in the Electoral Process: Scaling Laws and the Role of the Political Positions”, *Physical Review E*, 88, 2013, 024802.
5. López-Ruiz, R., Mancini, H. L. y Calbet, X.: “A Simple Measure of Complexity”, *Physics Letters A*, 209, 1995, 321-326.
6. Anteneodo, C. y Plastino, A. R.: “Some Features of the López-Ruiz-Mancini-Calbet (LMC) Statistical Measure of Complexity”, *Physics Letters A*, 223, n.º 5, 1996, 348-354.
7. López-Ruiz, R., Mancini, H. L. y Calbet, X., *op. cit.*, supra, nota 5.
8. Ribeiro, H. V., Zumino, L., Mendes, R. S. y Lenzi, E. K.: “Complexity-Entropy Causality Plane: A Useful Approach for Distinguishing Songs”, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 391, 2012, 2421.
9. Rosso, O. A., Craig, H. y Moscato, P.: “Shakespeare and Other English Renaissance Authors as Characterized by Information Theory Complexity Quantifiers”, *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 388, n.º 6, 2009, 916-926.

Ángel Ricardo Plastino es doctor en Astronomía por la Universidad de La Plata, investigador del CONICET y profesor titular en la Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires (UNNOBA). Ha realizado actividades de investigación en diversas áreas, en especial, astronomía dinámica, física estadística y sus aplicaciones interdisciplinarias, y teoría cuántica de la información. Ha publicado más de 190 artículos en revistas científicas internacionales. El Dr. A. R. Plastino ha colaborado con científicos de varios países, como Sudáfrica, España, Brasil y Chile.

HECHOS E IDEAS PARA PENSAR LA EDUCACIÓN

GUILLERMO JAIM ETCHEVERRY

Ya en los comienzos de la historia independiente de la Argentina, su dirigencia anticipó con lucidez el desafío que planteaba la educación de los ciudadanos. Cuando, a fines del siglo XIX, quienes lideraban nuestra sociedad promovieron, con una obstinación que ha sido reiteradamente destacada, la educación para todos, lo hicieron conscientes del efecto que esa política tendría para el desarrollo de la Argentina y, sobre todo, para su conformación como una sociedad integrada. Entre otros argentinos de la época, Sarmiento señalaba: “Vuestros palacios son demasiado suntuosos, al lado de barrios demasiado humildes. El abismo que media entre el palacio y el rancho lo llenan las revoluciones con escombros y con sangre. Pero os indicaré otro sistema de nivelarlo: la escuela”.¹ Es indudable que con el transcurrir del tiempo hemos abandonado esta concepción y la hemos reemplazado por el individualismo, el utilitarismo egoísta y el descarnado economicismo que caracteriza a nuestra sociedad contemporánea. Pero aún resuena la advertencia de Sarmiento: “El solo éxito económico nos transformará en una próspera factoría, pero no en nación. Una nación es bienestar económico al servicio de la cultura y de la educación”.²

Estas ideas, que fueron expresadas con claridad por los protagonistas de la Revolución de Mayo, se reiteraron a lo largo de los primeros años de nuestra historia independiente. Por citar solo un ejemplo, en 1837, al inaugurar el Salón Literario, organizado bajo el lema “Desechemos las obras de las tinieblas y vistamos las armas de la luz”, Marcos Sastre expresó en su discurso “Ojeada filosófica sobre el estado presente y la suerte futura de la Nación Argentina”: “Todo demuestra el gran vacío que hay en la instrucción pública de nuestro país. La imperfección de nuestros métodos de estudios y la necesidad que tiene la juventud estudiosa de recibir otras ideas, adquirir otros conocimientos, ocuparse de otras lecturas”.

En 1874, el mismo Marcos Sastre realizó un llamado desesperado a la dirigencia de su época:

¡Legisladores del pueblo argentino! ¡Hombres del poder! Escuchad la voz dolorida de la patria. Hay más de un millón de argentinos que no pueden participar de los beneficios de la civilización porque no saben leer. Esta cifra espantosa constatada por el censo aumenta día a día porque el aumento de la población es mayor que el número de quienes aprenden a leer.

¿Por qué no arrancáis de una vez a esa inmensa mayoría de vuestros comitentes y sus hijos de la abyecta condición del idiotismo en que se encuentran?

Enseñad a leer a todo el pueblo, que la imprenta, esa escuela popular de nuestra época, se encargará de instruirlo, presentándole en las puertas del hogar los tesoros de la ciencia moderna.

Enseñad a leer al pueblo y el mismo se elevará al nivel del progreso humano; de su seno saldrán los genios inspirados y los grandes benefactores que le darán las instituciones que deben completar su educación.

¿Os faltan los maestros? ¿Os faltan los caudales para distribuir el pan de la enseñanza a tantos desheredados del saber? ¡Pues qué!, ¿no estamos en el siglo de los portentos en que se abrevia el tiempo, se acortan las distancias, se multiplican las fuerzas, se populariza la ciencia y por el crédito disponemos de las riquezas del porvenir? El capital invertido en la cultura del pueblo, sería pagado por las generaciones venideras que habrían de cosechar sus óptimos productos.³

Podrían evocarse centenares de ejemplos que muestran la seria preocupación que siempre manifestaron nuestros fundadores por la educación. Pero lo importante es advertir que esta preocupación no se expresó solamente en el discurso, sino que, mediante sus acciones, los protagonistas de esa etapa fundacional de nuestra historia lograron modificar la realidad concreta de la compleja sociedad de ese momento. Es preciso recordar que, a comienzos del siglo XX, el 35% de la población argentina era analfabeta, mientras que en España lo era el 59%, en Italia el 48% y en la mayoría de las naciones de América del Sur, este porcentaje alcanzaba entre el 60 y el 80%. Asimismo, en 1935 la Argentina destinaba el 31% de su presupuesto nacional a la educación. En el

mismo período Canadá invertía el 29%, Alemania, el 27%, Chile, el 17% e Italia, el 9%. En moneda equivalente, la Argentina invertía en educación 20 pesos por habitante, mientras que en Francia se destinaban a ese objetivo 12,6 pesos por habitante; en Chile, 10,2; en Italia, 5,7; en Gran Bretaña, 31,2 y en Estados Unidos, 75,4.

A poco más de un siglo de distancia, quedan, como testimonios mudos de aquella epopeya educativa, entre otros, los edificios monumentales que alojaron a las escuelas de entonces. Esos mismos edificios que hoy ni siquiera estamos en condiciones de mantener o que —lo que es aún más grave— ni siquiera nos preocupamos por conservar. Es más, preferimos convertirlos en paseos de compras: los modernos “palacios de la cultura”. Precisamente, la magnificencia de esas escuelas pretendía señalar ante la sociedad de entonces la trascendencia que para su clase dirigente tenía la educación; grandiosidad que también contribuía a educar, como lo señaló Sarmiento en diversas ocasiones. En 1910, al conmemorarse el Centenario de la Revolución de Mayo, el contador de la Municipalidad de Buenos Aires, don Manuel Chueco, afirmaba a modo de balance:

Las casas que hemos edificado para nuestras escuelas son, cual corresponde a nuestras grandezas y a nuestras riquezas, lujosísimos palacios. Esplendidez que no es ostentosa vanidad, sino provechosa conveniencia. La casa escuela grande y limpia educa mientras el maestro enseña. Y cuando es lujosa y magnífica, educa más y mejor.⁴

Precisamente, en oportunidad de esa misma celebración, poco después de dejar de ser primer ministro de Francia, nos visitó Georges Clemenceau. De regreso en su país, escribió: “He visto escuelas profesionales y escuelas primarias que podrían servir de modelo en otros países. Locales irreprochables y niños de una limpieza absoluta”⁵

Esta superficial mirada a nuestro pasado basta para confirmar la magnitud de la decadencia en lo que respecta a la visión anticipatoria de nuestra dirigencia acerca de la trascendencia de la educación. Los llamados de atención, que entonces conmovieron tanto a la sociedad como para impulsar a su dirigencia a actuar y a modificar ese retraso que denunciaban, siguen resonando en nuestra época y constituyen el eco de una concepción de país que parece haber caído en el olvido.

UNA PARADOJA: HACIA LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO POR EL CAMINO DE LA IGNORANCIA

Enfrentamos hoy una tan extraña como inocultable paradoja. Por un lado, son unánimes las manifestaciones públicas que surgen de nuestras dirigencias cuando afirman, obligadas a hacerse eco del discurso dominante, que estamos ingresando en la “sociedad del conocimiento”. Se nos dice que solo aquellos países que cuenten con una economía basada en el saber y en la innovación que deriva de él tendrán posibilidades de desarrollarse y de subsistir en el futuro. Pero, por otra parte, a poco que nos detengamos a analizar nuestra realidad educativa, parecería que pretendemos ingresar en esa “sociedad del conocimiento”, simplemente, sin saber.

Son por todos conocidas las falencias con las que nuestros niños y jóvenes abandonan la educación formal. Esto se aplica a aquellos privilegiados que logran completar los doce años de esa educación. Efectivamente, el porcentaje de la fuerza de trabajo, es decir, las personas de entre 25 y 64 años, que no ha completado la educación media, hoy considerada como el mínimo requerido para trabajar, es entre nosotros del 58%. En Canadá, por ejemplo, el porcentaje equivalente es del 16%. Si consideramos, dentro de este grupo, a los más jóvenes, quienes tienen entre 25 y 34 años, el porcentaje es algo superior (52%), aunque, de todos modos, resulta alarmantemente bajo.

Otro indicador preocupante lo constituye el hecho de que, en el mismo grupo de 25 a 64 años, solo contamos con un 14% de personas que han completado la educación terciaria, frente a un 38% en Suecia, por ejemplo. Asimismo, entre nosotros se observan marcadas diferencias en lo que respecta a la distribución de la educación entre los diferentes grupos sociales. Por ejemplo, el 80% de los jóvenes procedentes de las familias que integran el 20% de mayores ingresos completa el nivel secundario, mientras que solo lo hace el 27% de los provenientes de familias que se encuentran en el 20% de menores ingresos. En la actualidad, alrededor de 900 000 jóvenes argentinos menores de 25 años no estudian ni trabajan.

En la actualidad, solo completa la educación media el 50% de los alumnos que ingresan; más de un millón de niños y jóvenes fracasa cada año en las escuelas primarias y secundarias; en los hogares más pobres repiten casi cinco veces más alumnos que en los más ricos. De acuerdo con un reciente estudio de la CEPAL, el 18% de los jóvenes de entre 15 y 19 años desertó de la educación, al tiempo que otro 15% de los integrantes de ese grupo estaba muy retrasado. En otras palabras, a pesar del hecho auspicioso de que en las últimas décadas se han incorporado a las escuelas muchos niños y jóvenes que antes no lo hacían, deberíamos realizar un esfuerzo sostenido para mantener dentro de ellas a un mayor número de personas con la finalidad de educarlas y no solo con el propósito de que estén allí como alternativa a vagar por las calles.

Estos pocos datos comparativos, extraídos de entre un universo de cifras de las que se deducen similares conclusiones, resultan ilustrativos para resumir la enorme deuda social que, en materia educativa, enfrenta nuestro país.

Pero esto no debe hacernos olvidar que no basta con incorporar alumnos al sistema educativo. Deberíamos, además, proporcionarles más y mejores herramientas para desenvolverse en un mundo de una complejidad creciente, sin descuidar su entrenamiento en el dominio de las capacidades básicas: comprender lo que se lee, desarrollar cierta capacidad de abstracción, poder orientarse, aunque más no sea rudimentariamente, en el tiempo y el espacio históricos. Es que, además de contar con relativamente poca gente educada, la calidad de la formación de quienes lo están es bastante pobre.

Son numerosas las investigaciones sobre calidad educativa que muestran nuestro alarmante retraso. En este sentido, resultan muy ilustrativos los resultados del estudio PISA, patrocinado por la OCDE: una comparación internacional del rendimiento educativo de jóvenes escolarizados de 15 años que se realiza cada tres años en un gran número de países del mundo en la que participó la Argentina desde el 2000, a excepción del año 2003. Del último estudio, que tuvo lugar en el 2012, surge que el 54% de nuestros jóvenes prácticamente carece de la capacidad de comprender lo que lee. Es preciso reiterar que se trata de jóvenes que están asistiendo a la escuela, ya que la investigación se realiza dentro de ese ámbito. El porcentaje equivalente en Finlandia es del 11% y en Corea, del 8%. Otro aspecto preocupante es la escasa cantidad de jóvenes con elevada capacidad de comprensión lectora: mientras que entre nosotros es del 0,5%, en Canadá o Australia se encuentra en el 12% aproximadamente. Es decir que tampoco contamos con un grupo que demuestre altas capacidades como en otros países, lo que desvanece el mito de la existencia de pretendidos grupos de excelencia. Siguiendo con la comprensión lectora, en el 2000, ocupábamos el puesto 35 de 41 países, con 418 puntos y, en 2012, con 396 puntos, estuvimos en el puesto 61 de entre 65 países, oportunidad en la que los estudiantes de Shanghai en China obtuvieron el máximo puntaje (580). Además, preocupa advertir que retrocedimos entre la evaluación del 2000 y la del 2012. La caída en el desempeño educativo afecta a los alumnos argentinos de hogares pobres, pero no escapan a ella quienes pertenecen a ambientes social y económicamente más favorecidos.

Similares deficiencias se advierten en lo que respecta a los conocimientos en ciencia y en matemática, cruciales por otra parte para la real "sociedad del conocimiento". Así, por ejemplo, mientras que en Argentina el 66% de los jóvenes posee muy escasos conocimientos de matemática, en Canadá, Corea o Japón se encuentra en una situación similar alrededor del 10% de los jóvenes. Cuando se comparan los resultados obtenidos en el estudio internacional PISA por alumnos argentinos de 15 años entre el 2000 y el 2012, se comprueba que el puntaje promedio en matemática en el año 2000 fue de 388, lo que nos ubicó en el puesto 34 de 41 países y, en el 2012, con un puntaje similar nos ubicamos en la posición 59 entre 65 países; ocasión en la que el máximo puntaje (613) fue obtenido también por los alumnos de Shanghai en China.

Aunque en el reciente estudio PISA los alumnos de Chile, Costa Rica, Uruguay, México y Brasil han superado a los de la Argentina, los países de América Latina comparten la crisis de la calidad educativa, con algunas diferencias entre ellos, como lo demuestran tanto ese estudio como numerosas otras investigaciones que se han ocupado exclusivamente de la región. Por ejemplo, el "Segundo Estudio Regional Comparativo y Explicativo" (SERCE) organizado por la UNESCO en el 2006 y enfocado en la educación primaria es encabezado por los alumnos de Cuba, quienes muestran el mayor rendimiento (con 627 puntos), seguidos, en ese orden, por los de Costa Rica, Chile, Uruguay, México y la Argentina (509 puntos). Cabe señalar que, en un estudio similar realizado en 1997, la Argentina ocupaba el segundo lugar, detrás de Cuba.

Los datos consignados bastan para extraer una conclusión esencial: la Argentina cuenta hoy con relativamente poca gente educada e incluso aquellos que han accedido a la educación exhiben un nivel de conocimientos y habilidades tan bajo, en comparación con los de la mayoría de sus pares en el mundo desarrollado al que pretendemos ingresar, que debería constituir un motivo de seria preocupación.

Por lo tanto, es posible afirmar que, aunque la educación es una prioridad declamada reiteradamente por la sociedad argentina, en los hechos concretos, es difícil advertir evidencias claras del esfuerzo social y personal que resulta imprescindible realizar para educar y para aprender.

TENDENCIAS CULTURALES CONTEMPORÁNEAS Y LA TAREA DE EDUCAR

Educarse se ha convertido en la actualidad en una tarea muy compleja porque, en cierto modo, apunta hacia una dirección contraria a las tendencias que prevalecen en la sociedad actual. Por eso, en paralelo con la escasa valoración social de la educación que demuestran los datos consignados, se debe destacar la falta de convicción en el sacrificio personal necesario para educarse, para aprender. Quien ha aprendido algo sabe que le ha demandado un esfuerzo personal. Interesado, guiado y ayudado por los maestros y apoyado por los

padres, quien aprende realiza un esfuerzo que involucra a toda su persona. Esta concepción está ingresando en un peligroso ocaso cuyas consecuencias son fácilmente observables en la escena cotidiana.

Aunque se insiste en la importancia de la educación, lo que debería reconocerse, en realidad, es que lo que en verdad interesa es la certificación de haberla recibido. Numerosos ejemplos confirman esta sospecha en la realidad argentina. Así, ante la pérdida de clases en algunas provincias debido a problemas gremiales, el reclamo de los padres no ha sido que sus hijos recuperen el conocimiento que han dejado de adquirir, sino que el Estado les reconozca como aprobado el grado o el año que no han cursado. Es esta una de las manifestaciones más claras de la hipocresía de la sociedad argentina en torno de la cuestión educativa.

Lo más grave de todo esto es que se está dejando de apreciar la contribución que hace la escuela —aquí “escuela” engloba al conjunto del sistema educativo— a la formación de la persona. Se ambiciona contar con la certificación de haber pasado por allí, pero no importa mucho que esta se encuentre necesariamente ligada a lo que dice certificar.

Puesto que subyace en la sociedad actual un cierto desprecio por la actividad intelectual, lo cual reafirma el carácter paradójico de la “sociedad del conocimiento”, la escuela se va convirtiendo en una suerte de pasatiempo, una franquicia más del mundo del espectáculo en el que vivimos inmersos. Al estar debilitándose aceleradamente la capacidad de retener la atención del ser humano, es preciso recurrir a cualquier artilugio para atrapar la mirada de los distraídos jóvenes espectadores. Porque, en realidad, el problema es que nos estamos quedando sin alumnos, sin personas dispuestas a encarar el esfuerzo que supone aprender, “escuchar” al maestro. El entretenimiento “light”, dirigido al cliente-espectador, reemplaza al trabajo intelectual riguroso y metódico que hasta ahora ha supuesto el aprendizaje del alumno, interesado por el docente en el saber.

El vacío de conocimientos en el que estamos dejando a nuestros niños y jóvenes, expresión de ese horror contemporáneo ante el esfuerzo, se justifica apelando a una idea que también merece ser analizada. Es la que sostiene que, como el conocimiento cambia tan rápidamente, no es necesario aprender prácticamente nada, puesto que, una vez concluida la escuela, lo que se aprendió en ella ya será obsoleto. Una concepción atractiva, si no fuera porque, en realidad, el problema de nuestros niños y jóvenes no reside en la vanguardia del conocimiento. Se trata, más bien, de una crisis de retaguardia: no comprenden lo que leen o no pueden realizar simples procedimientos de abstracción vinculados con la matemática. Eso no tiene relación con el conocimiento cambiante, sino con la adquisición de habilidades intelectuales básicas, que es lo que hoy no nos preocupamos por desarrollar.

Pretendiendo estar a la vanguardia, se instala velozmente la creencia de que la tecnología resolverá los problemas educativos. Es evidente que el crecimiento desarrollado por las tecnologías de la información y la comunicación hace necesario que nuestros jóvenes se familiaricen con ella. Pero deberíamos entender que, para hacerlo, es indispensable contar con habilidades intelectuales esenciales. Quienes se han formado en la etapa anterior a la aparición de estas tecnologías —los “migrantes digitales”— logran incorporarlas sin necesidad de realizar grandes esfuerzos porque comprenden lo que leen; son capaces de hacer la abstracción necesaria para intuir sus fundamentos. Contrariamente a lo que piensan los padres y, sobre todo, los abuelos, se sigue requiriendo mayor capacidad intelectual para escribir un poema que para manipular un teléfono móvil.

Este reconocimiento de la importancia de las capacidades humanas básicas es lo que nos ayudará a reformular la educación actual. Hoy se afirma que, en realidad, es preciso desarrollar en los chicos la habilidad de “aprender a aprender”, como está de moda decir. Sin embargo, siempre se enseñó a “aprender a aprender”; la diferencia reside en que antes se enseñaba a aprender “aprendiendo algo” y hoy se pretende enseñar a aprender en el vacío. Sigilosamente, el conocimiento concreto huye de las escuelas.

Este abandono del conocimiento está relacionado con otra característica que resulta importante mencionar: la resistencia a la norma, un fenómeno evidente en la sociedad actual. En un contexto como este, la educación entra en crisis porque, precisamente, está vinculada a la enseñanza de reglas y normas, especialmente en el campo de la lengua y de la matemática.

Por otra parte, la sociedad occidental ha evolucionado hacia un individualismo que, sin duda, tiene aspectos muy positivos, pero también negativos, como esta falta de aceptación de la norma, lo que torna la vida social tan caótica, difícil y compleja. No contamos con un sistema compartido de reglas y normas y el hecho de que la educación no haga hincapié en su existencia contribuye a la falta de respeto por ella que se observa en el escenario social.

Uno de los más claros ejemplos de esta situación lo constituye el aprendizaje de la estructura de nuestra propia lengua, que ha caído en el descrédito. En la actualidad, la lengua es “actuada”: se sienta a los chicos y se los hace hablar. Privilegiar la libre expresión ha conducido a que la lengua pública haya sido colonizada por la lengua privada, una pérdida de distinción que se observa con claridad en los medios de comunicación. Una

situación similar ocurre en el aprendizaje de la matemática. No son pocos los padres que, ante las dificultades de sus hijos en esta disciplina, las adjudican a la falta de una disposición innata. Un padre oriental no dudaría en explicar ese fracaso por la resistencia de su hijo a realizar el esfuerzo necesario.

Ampliar el panorama vital de una persona significa, precisamente, realizar ese esfuerzo. En última instancia, la educación nos proporciona a cada uno de nosotros la dimensión, el límite, de nuestras propias posibilidades. Mediante la educación tomamos conciencia de aquello que podemos ser, de lo que tenemos la capacidad de ser. Con frecuencia recorro a la definición que de la educación daba Hesíodo, poeta griego contemporáneo de Homero, en el siglo VIII a. C.: “Educar a una persona es ayudarla a aprender a ser lo que es capaz de ser”.

Otra cuestión importante es la vinculada con la idea que nos hemos ido formando acerca de la utilidad del conocimiento. Es frecuente escuchar a padres e hijos preguntar para qué sirve aprender determinado contenido. Esta pregunta, en apariencia inocente, esconde toda una concepción vital. Lo que se está cuestionando es si eso que se enseña en la escuela tiene una utilidad productiva inmediata, si servirá para hacer dinero con rapidez.

La educación está estrechamente relacionada con la expansión de la persona, con la construcción del ser humano, que en ese proceso adquiere capacidades no solo reflexivas, sino también productivas. Se forman personas que, lógicamente, deben ser además capaces de trabajar. Pero la formación de la persona está, sin duda, en primer lugar. Esa visión debe ser reconquistada en una sociedad como la actual, en la que el tipo de trabajo que se terminará realizando muchas veces se aparta claramente de aquello para lo que la persona se preparó. Hoy más que nunca resulta imposible predecir el desarrollo lineal de una carrera profesional. Por eso, la adquisición de herramientas intelectuales que proporcionen la flexibilidad necesaria para cambiar de empleo todas las veces que se plantee esa alternativa resulta esencial. No es casual que muchas universidades intenten formar personas con conocimientos en varias disciplinas fundamentales, tales como la historia, la física, la filosofía o la biología. No se busca que se conviertan en expertas en ellas, sino que adquieran las herramientas intelectuales que les son propias, porque son las que les permitirán acceder a la realidad desde ángulos distintos. Tampoco es casual que muchos gerentes de grandes compañías internacionales hoy no sean economistas o graduados en administración de empresas, sino, en cambio, filósofos o historiadores, puesto que son estos quienes mejor dominan las herramientas intelectuales que permiten comprender la complejidad de los veloces cambios que experimenta la realidad. Por eso, hoy más que nunca, tenemos la obligación de mostrar a los jóvenes la riqueza intelectual del mundo, ya que, precisamente, es eso lo que les otorgará mayores posibilidades de desarrollo personal. Se trata de un tema de debate muy interesante e imprescindible para contextualizar las propuestas que impulsan una especialización temprana, en realidad precoz, de los contenidos de la enseñanza.

LA CRISIS DE LA TRANSMISIÓN: EL HIATO INTERGENERACIONAL

La educación media argentina, a la que en alguna oportunidad caractericé como “una larga preparación para el viaje de egresados”, se está transformando en un período de tiempo prácticamente perdido, una especie de tiempo vacío en espera de lo que vendrá: el trabajo o los estudios superiores. Lo mismo sucede en el nivel universitario, en el que se impone concluir rápidamente los estudios de grado, sin importar de qué manera, porque se contempla la expectativa del posgrado. En suma, en el sistema educativo se vive en una permanente postergación.

Es importante comprender que no es posible hacer perder a nuestra gente joven un tiempo tan valioso. Es preciso realizar un esfuerzo para reintroducir en nuestra sociedad la idea de la importancia del aprendizaje de lo concreto. Si bien es preciso formar personas solidarias y creativas, estas deben poseer también brújulas intelectuales que les permitan orientarse en el mundo. Son escasos los esfuerzos que hacemos para mostrar a los niños y jóvenes que existe otra realidad más allá de lo superficial, banal y grosero que les exhibimos todos los días por los medios de comunicación; que el ser humano es capaz de otros desarrollos y que ha concretado, a lo largo de la historia, creaciones importantes en todos los campos. Nuestros jóvenes tienen derecho a acceder a ese patrimonio por la sola razón de ser humanos, y es nuestra obligación transmitirlo. Esa función de transmisión, que siempre ha caracterizado a la familia, primero, y luego a la escuela, está atravesando una crisis muy profunda, que explica en gran medida la situación que estamos viviendo.

Nuestro mundo privilegia lo joven y todos queremos ser jóvenes: padres y maestros pretendemos ser los amigos canosos de nuestros hijos. Tendemos a no diferenciarnos porque la cultura contemporánea es una cultura de lo joven, como característica en sí misma. La juventud dejó de ser una etapa transitoria de la vida, para pasar a ser la vida misma, un estado en el que se intenta permanecer indefinidamente.

Por eso, demostramos un respeto reverencial por el mundo joven y no percibimos que, en realidad, este es un producto de los adultos, creado por los adultos que encuentran en lo joven un vasto mercado consumidor. Nuestros jóvenes están siendo manipulados a escala global por adultos que hemos logrado

convencerlos de que la suya es una cultura propia. Y como la operación cultural se produce a escala planetaria, el nivel del producto es necesariamente bajo, porque la rentabilidad exige alcanzar a la mayor cantidad de gente posible. Esa es la razón por la cual muchas de las manifestaciones que observamos entre los jóvenes —como el actual regreso a la cultura carcelaria— reflejan lo más primitivo, la peor producción del ser humano. Y hablamos de “la peor producción” porque es preciso, además, admitir que hay diferencias entre los productos culturales y que hay que hacer un esfuerzo para mostrarlas, de modo que los jóvenes cuenten, al menos, con la opción de elegir.

Este endiosamiento de lo joven es crucial para comprender la crisis educativa. Si lo joven es lo importante y los adultos no tenemos nada que decirles, la escuela carece de sentido. Si los jóvenes ya lo saben todo, ¿para qué, entonces, educarlos? En esa concepción, la función de la escuela parecería ser la de contención en una suerte de consultorio psicológico, cuando, en realidad, la escuela debería privilegiar la expansión de la persona. Deberíamos volver a esta dimensión de ampliación que tiene la escuela y no limitarla a una estrategia de reducción de las expectativas vitales.

Nuestro tiempo se caracteriza por la brusca ruptura de los vínculos entre las generaciones. Como en nuestras sociedades se afianza la preeminencia del individualismo, la competencia y el rendimiento económico, los seres humanos nos hemos convertido en un “capital”, el humano, valorado en un pie de igualdad con las máquinas, el físico. Mezquino portador de ese bien personal, empresario de sí mismo, cada uno vive para sí, cree ser su propia obra. Sobre todo, tendemos a concebir nuestras vidas como independientes de las demás generaciones. Parecería que ya no les debemos nada a quienes nos han precedido y que nada nos obliga con quienes nos seguirán. Este ocaso de las solidaridades concretas entre los grupos de diferente edad se manifiesta en el desprestigio de los símbolos del intercambio entre generaciones, situación que, a semejanza del “desastre ecológico”, el sociólogo francés Christian Laval ha definido como el “desastre genealógico”. Como la educación constituye el paradigma de esos símbolos, la causa de su crisis debe buscarse en ese desastre.

Cuando, como ahora, la mercantilización generalizada intenta dejar a los jóvenes a merced del comercio y la publicidad, la difusión de los saberes, que dependía de los lazos entre edades, adquiere un valor simbólico y político subalterno. La escuela se ha construido sobre la solidaridad entre las generaciones, materializada en la transmisión de saberes y valores. Al devaluar ese proceso, la sociedad actual demuestra que solo quiere a sus maestros y a sus sabios para pretender justificar la producción de ese “capital humano” destinado a rendir en el mercado de trabajo. Además, la educación pública, paradigma de un proyecto común y democratizador, en lugar de ser valorada es empujada hacia el país de abajo, donde se acumula lo que se considera un lastre, un freno al avance del nuevo dios de la competitividad. Esa crisis de la educación pública constituye uno de los rasgos centrales de la decadencia educativa y, sobre todo, social que se observa en la Argentina.

También el desprestigio de quienes enseñan se debe a la corrosión de ese lazo entre las generaciones. La importancia singular de la tarea que realizan surge de su ubicación en el sitio mismo donde se entrelazan los problemas sociales con la cuestión genealógica de la transmisión de un patrimonio común. La sociedad occidental, capaz de producir bienes como ninguna otra, parece cada vez más imposibilitada de hacer lo que antes hacía —y algunas sociedades todavía intentan hacer—, perpetuarse en el tiempo, tejiendo ese lazo entre viejos y jóvenes. Pero, como se ha dicho, parecería no haber ya viejos y jóvenes. Vivimos en el mundo de la eterna juventud, en el que se está borrando la distinción entre las generaciones. Resulta lógico, pues, que la educación haya entrado en crisis, ya que está basada en esa diferencia.

Es esencial advertir el “desastre genealógico” que enfrentamos y resistirse a su avance, porque la supervivencia del conjunto social se edifica por medio de la solidaridad generacional. Hoy más que nunca, es preciso insistir en la importancia de que padres y maestros vuelvan a enseñar; de que se conciban como diferentes de los jóvenes. Anudar con ellos ese hilo invisible que permite tejer la trama de significados mediante los que se estructura una comunidad constituye una exigencia de civilización, más bien, de recivilización social.

EL INDIVIDUALISMO Y LA IGUALDAD

Otro elemento importante a propósito de la educación es el vinculado con la igualdad. En una sociedad que la privilegia como uno de sus valores fundamentales, no resulta sencillo comprender que las relaciones dentro de la escuela no son simétricas. No son lo mismo el maestro que el alumno, ya que, si lo fueran, no tendría sentido organizar escuelas. La idea según la cual la enseñanza supone una imposición sobre la libertad de quien aprende —tan en boga actualmente— debe ser seriamente revisada. Cuando el maestro requiere silencio por parte de sus alumnos, algo ya casi prohibido en nuestras aulas, comienza por hacer silencio él mismo. Habla, pero no sobre él o ella, sino sobre el conocimiento del que es vehículo. Están todos en silencio, el alumno y el maestro, aunque este hable, porque es el conocimiento el que ocupa el lugar central en la relación pedagógica.

Algunos estudiosos de este tema afirman que la crisis actual no es propiamente una crisis de la educación, porque no hay educación sin alumnos, y estos están hoy ausentes de la escuela, sustituidos por clientes. En efecto, es poco habitual que lleguen a la escuela alumnos, es decir, personas en actitud de aprender. Hay, sí, niños y jóvenes que asisten a ella, muchas veces como una obligación o para tratar de pasar un rato amable, pero no con la disposición de hacer el esfuerzo, de escuchar y de desarrollar junto con el maestro y sus compañeros las capacidades intelectuales que nos son comunes. La recreación de la figura del alumno es crucial y en ella desempeña un papel fundamental la familia.

Antes nadie dudaba de que era deber de los padres y maestros transmitir a los jóvenes un cuerpo de conocimientos y de valores, introducirlos en la cultura y desarrollar en ellos el respeto por la condición humana. Estos objetivos se cumplen cada vez menos porque se ha erosionado la jerarquía moral imprescindible para que los adultos puedan ejercer autoridad sobre los niños. Además, hoy ya no se piensa que exista una sabiduría superior que deba ser transmitida. Nada es superior, todo es igual. Este relativismo moral y cultural hiere de muerte la autoridad de la familia y de la escuela, representada por los padres y los maestros. Esa autoridad se ha transferido a los individuos. Todos, incluso los niños, nos sentimos autorizados a ser nuestros propios jueces morales. Todos nos consideramos con derecho a expresarnos, aunque no sepamos hablar. En realidad, no pocas veces se aprende a hablar callando, escuchando, leyendo... El efecto de esta tendencia en las aulas y en los hogares ha sido devastador.

En el terreno de la pedagogía, esta "libertad" para todos se ha traducido en el repliegue de la enseñanza, el desprestigio del conocimiento y la falta de respeto por el intelecto. Al mismo tiempo que la creatividad se convierte en el bien superior, las reglas y los hechos son falsamente presentados como sus enemigos.

La ideología subyacente es la de transferir el "poder" de los maestros a los alumnos. Este pedagogismo igualitario es, además, compasivo: propone que los errores no se corrijan, se privilegie un vago conocimiento "conceptual" y se evite enseñar lo que tiene apariencia de "regla" o "ley". Se devalúa el esfuerzo y la seriedad. Se desprecia lo exacto y lo correcto, que no solo es fundamental para el aprendizaje, sino, también, para el desarrollo de la moralidad. Este *laissez faire* resulta disparatado en la educación, una actividad que, en esencia, consiste en dar el ejemplo, en ejercer influencia, en despertar admiración.

Por eso, el culto al individualismo que caracteriza a la sociedad actual hace que cualquier intento de enseñar algo a alguien sea visto como una intromisión en la libertad del otro; un otro a quien hay que dejar así, como ya es: salvaje, sin cultivar, es decir, inculto. El problema es que, en lugar de que lo hagan la familia y la escuela, ese ser es construido por alguien invisible: un aparato mediático que lo concibe como un sujeto consumidor al que debe impermeabilizar frente a toda influencia que no sea la que promueve ese consumo. El objetivo: ignorantes resistentes a toda idea que difiera del mensaje predominante.

En esta concepción de la igualdad, en este privilegio absoluto de lo joven, en esta adoración de lo actual y lo moderno, en la velocidad en que vivimos es donde deben buscarse las razones por las cuales la escuela como institución está en crisis. Y, aunque todo indica que esto seguirá siendo así, tal vez deberíamos hacer un esfuerzo por revalorizar algunos aspectos básicos, esenciales.

¿QUÉ HACER? SOBRE MAESTROS, PADRES Y ALUMNOS

Los recursos dedicados a la educación son importantes, ya que en los presupuestos se advierte con claridad la verdadera trascendencia que una sociedad otorga a un problema. La educación no aparece como prioritaria ni en las inversiones que realiza el Estado ni en las que impulsa el sector privado. Si bien en los últimos años se ha realizado una inversión importante en el sector educativo, seguimos retrasados. Como demostración, baste una cifra: la Universidad de Buenos Aires cuenta con más de 300 000 estudiantes y tiene previsto para el 2014 un presupuesto de 645 millones de dólares, mientras que la Universidad de San Pablo, Brasil, con 60 000 estudiantes cuenta con un presupuesto anual que supera los 2200 millones de dólares. En otras palabras: una sola universidad de Brasil tiene un presupuesto que equivale a más de la mitad del destinado a las cuarenta y siete universidades nacionales argentinas, que es de 3700 millones de dólares. Y así podrían multiplicarse los ejemplos en todos los niveles del sector educativo, lo que no hace sino revelar la importancia que otorga nuestra sociedad a la educación.

Entre las alternativas para modificar la situación de la educación, se impone una muy modesta: regresar a la lectura. Quienes hablamos sobre estos temas y adjudicamos una trascendencia especial a la lectura no lo hacemos como demostración de idolatría por lo escrito, sino advirtiéndole que estamos contruidos por ideas abstractas. Giovanni Sartori afirmaba hace poco que vivimos en una sociedad artificial en la que nos guiamos por ideas abstractas mientras que utilizamos herramientas para la transmisión de lo concreto. La imagen está vinculada a esa transmisión de lo concreto, porque lo que vemos impacta en nuestra esfera sensorial. La palabra, en cambio, apela a nuestro intelecto, a nuestro razonamiento. Por eso, el regreso a la lectura supone retornar a otra dimensión del tiempo, ligada a la reflexión.

Vivimos en una sociedad que privilegia la velocidad. Se nos ha comparado con la imagen de quien patina sobre un hielo muy delgado, forzado a ir muy rápido porque, si se detiene, se hunde. ¿Es esa la dimensión del tiempo que debe predominar también en la escuela?

La educación les da a las personas la posibilidad de entender que el ser humano cuenta con tiempos variados para desarrollarse. Hoy más que nunca, deberíamos recuperar esas otras dimensiones que nos abren la puerta a profundidades que merecen ser exploradas. De otro modo, nuestros chicos y jóvenes terminarán por pensar que solo es posible desarrollar sus vidas en esa aceleración superficial. Nuestra obligación como adultos es precisamente la de dar testimonio a nuestros jóvenes de que existe otra realidad, de que hay otras posibilidades. La escuela y la familia son agentes contraculturales que enfrentan a la cultura hegemónica dominante. Cuando se afirma que hay que abrir las puertas de la escuela para que ingrese en ella la vida, quizás convendría considerar la conveniencia de abrir las puertas de la escuela para que salgan a la calle los valores que ella encierra. Deberíamos hacer un esfuerzo en el sentido inverso: colonizar o culturizar la modernidad, presentar los valores de la cultura a la sociedad actual.

Es evidente que el contexto en el que se desarrolla hoy la educación es muy complejo. Sin embargo, la historia demuestra que el ser humano cuenta con enormes posibilidades de regeneración. Hay signos de que los jóvenes comienzan a comprender lo que sucede y que habrán de reclamarnos por la herencia que no les transmitimos. Del mismo modo, comienzan a advertirse reclamos en muchos lugares del mundo: es preciso reconocer que estamos ante una crisis educativa extendida a toda la sociedad occidental y que no constituye un patrimonio exclusivo de la Argentina, si bien entre nosotros tiene las preocupantes particularidades comentadas.

La caída de las vocaciones científicas, por ejemplo, es un rasgo de la sociedad actual que resulta paradójico. Afirmamos que vivimos en una sociedad que depende de la ciencia y de la técnica y, sin embargo, desciende el interés por los estudios de ciencia y tecnología. Esto tiene que ver con el rechazo al esfuerzo y a la norma ya comentados, pues se trata de disciplinas difíciles y complejas. A diferencia de Estados Unidos, que importa científicos y técnicos para superar esta deficiencia, la Argentina no puede comprarlos, sino que debe hacer un esfuerzo para volver a interesar a nuestros jóvenes en esos temas. Porque los jóvenes siguen siendo interesantes. Somos nosotros quienes nos hemos resignado a no hacerlo, a no mostrarles esas otras posibilidades, a no impulsarlos a descubrir, mediante la exigencia, que es tan excitante resolver un problema matemático como un videojuego. Hemos sido posiblemente contagiados por la cultura del desprecio al esfuerzo.

Por estas razones, es imperioso replantear el contrato de la educación. ¿Con qué objetivo los padres envían a sus hijos a las escuelas? Hace falta definir si este objetivo es que hagan deportes, se diviertan, la pasen bien o si buscan, en cambio, que desarrollen sus capacidades intelectuales. De ser esta la finalidad, se deberán respetar ciertas reglas. En la actualidad se ha quebrado el pacto fundacional de la educación: los padres asociados a los maestros para educar a los niños. Hoy los padres están asociados con sus hijos en contra de la escuela, que es percibida como una institución que intenta imponerse sobre los chicos, que distribuye un bien percibido como deseable: la certificación, pero que impone demasiadas condiciones para concederlo.

En este sentido, a las familias les cabe una gran responsabilidad. Si no saben con claridad qué pretenden de la educación, será muy difícil lograr cambios. Si conciben a la escuela como una especie de club, una “guardería ilustrada”, un sitio de contención de los jóvenes, es decir, si buscan que la escuela los entretenga, bastará con seguir considerando a sus hijos como sus víctimas, indefensas criaturas ya terminadas para quienes la escuela representa una intolerable experiencia de injustificada opresión a ser superada cuanto antes.

Resulta muy ilustrativo el hecho, comprobado en reiteradas ocasiones y recientemente confirmado por estudios del “Observatorio de la Deuda Social Argentina” de la Universidad Católica Argentina, de que alrededor del 60% de los padres califica como buena o muy buena la enseñanza que reciben sus hijos en todos los niveles de la educación (inicial, primaria y media) y no los cambiarían de escuela por ningún motivo. Se trata de esa misma enseñanza, cuyos tan desalentadores resultados hemos comentado más arriba. Son pocos los que admiten haber sido alcanzados por la crisis que denuncian en su entorno, en el que dos de cada tres jóvenes de entre 15 y 19 años carecen de los conocimientos mínimos que les permitirían incorporarse al mercado laboral: no completaron la educación media o no poseen las capacidades básicas de lectura.

En la medida en que los padres y el conjunto de la sociedad carezcan de la percepción real de la crisis que atravesamos y de la necesidad de esfuerzo que el desafío de ayudar a construir a una persona representa, el problema no se resolverá. Es preciso orientar la demanda de las familias, volver a reflexionar y a hablar sobre estos temas. Si los padres exigieran otras cosas de la escuela, al menos quienes están en condiciones socioculturales de hacerlo, la experiencia escolar de los que no tienen esa fortuna sería muy diferente.

Es imperioso volver a pensar que la escuela está íntimamente ligada al logro académico; una idea que ha desaparecido porque la institución se está vaciando de sustancia. Es la obligación de cada uno formarse como persona y es responsabilidad de los padres contribuir a que sus hijos cumplan con ese imperativo humano.

Es claro que a la pregonada “sociedad del conocimiento” se ingresa por la esforzada puerta del conocimiento real y concreto y, por eso, de la actitud que asumamos en relación con el objetivo de la educación, dependerá el destino de cada una de las personas y de nuestra sociedad.

Vivir genera una serie de responsabilidades. Hacerlo en democracia requiere imprescindiblemente que nos ocupemos con seriedad de la educación de todos, pues nuestra suerte está ligada al grado de comprensión general de los problemas que plantea un mundo cada día más complejo. No hay posibilidad alguna de construir una democracia seria, justa, solidaria y equitativa en una sociedad que no está educada. Pero, además, existe la responsabilidad de educarse para intentar ser una persona más completa y, de ser posible, mejor. Por eso, aquí los principales actores son los padres, pues si ellos plantearan otras exigencias a la escuela —al menos quienes están en condiciones de hacerlo— la educación de todos sería diferente. Para confirmar que el problema involucra a toda la cultura occidental, baste citar un párrafo de una nota que un grupo de profesores españoles envió no hace mucho a su Ministerio de Educación:

No se puede pedir a los profesores que trabajen con ilusión mientras aguantan diariamente toda clase de groserías. Los poderes públicos hablan solemnemente de la dignidad del profesor, pero luego permiten que se vulnere. Por ejemplo no se puede expulsar de un instituto a ningún alumno, aunque le suelte una profesora una zafiedad que bastaría para que lo expulsaran de una taberna. Si lo que un profesor tiene que soportar hoy en día de alguno de sus alumnos lo tuviera que soportar cualquier otro trabajador de sus compañeros o de su jefe, tendría razones sobradas para denunciarlos por acoso en el centro de trabajo.

Allí reside otra cuestión esencial: la imprescindible reinstalación en la escuela de la centralidad de la figura del docente. Es posible que haya muchos docentes escasamente preparados, pero eso es un síntoma de que no interesa lo que hacen, de que su tarea no es reconocida. Si no logramos recrear el respeto al docente, este problema no se encaminará hacia su solución. Es preciso reinstalar la autoridad del docente que surge de la responsabilidad que este asume cuando se hace cargo del conocimiento a ser transmitido. En una etapa como la actual, en la que el valor del conocimiento, paradójicamente, disminuye, la autoridad del docente también lo hace. En última instancia, la autoridad del maestro surge en el preciso momento en el que se propone hacerse cargo del conocimiento con el que se dispone a entusiasmar al alumno, a despertar su curiosidad, a transmitirle elementos que le ayuden a comprender. Al desaparecer esa actitud, la autoridad del maestro queda erosionada, a lo que también contribuye la pobreza del capital cultural que en la actualidad muchas veces el docente aporta al aula.

Asimismo, es preciso reconocer que, como reacción a ese desprestigio que sufren, los docentes han asumido muchas veces una postura contestataria que, ubicándolos a la defensiva, ha erosionado aún más su relación con los padres y con el conjunto de la sociedad. Tanto es así que hoy incluso avergüenza ser llamado maestro y se prefiere ser considerado animador de grupos, trabajador de la educación. La revalorización del docente solo será posible si la sociedad vuelve a apreciar lo que hace, a compartir su misión y a acompañarlo en ella.

Por tanto, la posibilidad de reconstruir la escuela vuelve a pasar por la importancia del conocimiento. Este es un valor en sí mismo y, aunque traten de convencernos de que es fugaz y relativo, lo que cada uno sabe sigue siendo importante y se pone en juego cada vez que toma una decisión, cada vez que emite un juicio. Es ese saber el que construye la visión que una persona posee del mundo y de sí misma, mediante el que se concreta el aporte que hace la cultura a la educación. Esta, a su vez, debería ser pensada no solo desde el punto de vista técnico-pedagógico, sino también desde la cultura, porque, en última instancia, la educación es la herramienta imprescindible para mantenerla viva y para poder recrearla en cada generación.

La formación de los docentes atraviesa una crisis profunda. Tal vez el elemento distintivo lo constituya el hecho de que se le otorga un gran énfasis a la tecnología de la enseñanza y se descuida el conocimiento. Solo cuando el docente llega a dominar muy bien lo que enseña, logra contagiar a sus alumnos su entusiasmo por aquello que lo apasiona. Es esa actitud de ejemplo la que en verdad “enseña” y constituye el signo distintivo de un docente efectivo.

Si no hacemos un esfuerzo para que la sociedad argentina se integre a través de la educación; si no logramos que los chicos manejen la lengua y adquieran un código de comunicación común; si no les damos la imprescindible riqueza de lenguaje que les permita expresar lo que piensan en lugar de recurrir a la violencia, enfrentaremos un grave problema. Resulta oportuno a este respecto recordar una frase de

Sarmiento, quien en 1849 dijo: “¿No queréis educar a los niños por caridad? ¡Pero hacedlo por miedo, por precaución, por egoísmo! Moveos, el tiempo urge; mañana será tarde”.⁶

Debemos comprender que no hay salvación individual, ya que la calidad de la vida de cada uno depende de la calidad de quien está frente a él. Por eso, debemos hacer un esfuerzo para educar mejor a la mayor cantidad de gente posible. Porque no vivimos aislados, vivimos en contacto con los otros; la calidad de esos otros es nuestra propia responsabilidad. De allí surge la gravedad de la decadencia de la educación pública, que brindaba la posibilidad de vinculación precoz entre distintos grupos sociales. Si no asumimos ese compromiso, que fue el que se concretó a fines del siglo XIX, nuestro futuro estará seriamente amenazado.

Un breve párrafo de Javier Orrico, profesor de Lengua y Literatura en la enseñanza media, poeta y periodista español, resume muy bien lo que he intentado expresar:

Ser joven es tenerlo todo por construir, estar expuesto a todos los peligros que los adultos hemos ido incorporando a nuestro repertorio de heridas, experiencias, logros y frustraciones. La inconciencia, la precipitación, el riesgo son condiciones inherentes a la juventud; por eso hay que entrenarla para hacerle frente y esos deberían ser los fines de la educación, imbuir en ellos el amor propio junto a la superación, la racionalidad y el sentido de la medida, el valor del esfuerzo, de la voluntad, de la memoria, del amor a lo bien hecho, del análisis lógico, la generosidad y el gozo del saber. Enseñarles a enfrentarse a sí mismos, a buscarse en las pruebas, a exigirse, a conocerse, a encontrar en el arte, en las ciencias, en la literatura, en la música las emociones más verdaderas y profundas, las preguntas, las razones para vivir e, inclusive, para morir. Mostrarles en fin cómo seguir siendo griegos, cómo concebir la vida como una aventura cuyo sentido o estupidez depende exclusivamente de cada uno. Que es eso lo que ha hecho grande a nuestra civilización y libres a quienes la hemos heredado. Frente a quienes concibieron siempre la vida desde el paternalismo, el colectivismo, el totalitarismo, la teocracia, el miedo y la desconfianza en el hombre. Hemos enviado a nuestros jóvenes a enfrentarse a la existencia sin un solo recurso personal, son profundamente dependientes y débiles cuando a más cosas tienen acceso, cuando más fuertes y conocedores de sus posibilidades deberían ser. Cuando más reciamente los tendríamos que haber construido desde esa aspiración del hombre total que fue el humanismo, cuando ante la atomización de las informaciones que reciben a través de los medios de masa más anclados deberían encontrarse en una tradición que les sirviera de referencia y de sentido.⁷

En última instancia, deberíamos comprender que la educación consiste precisamente en eso: en proporcionar anclas, en dar posibilidades de referencia, en alertar acerca de los sentidos. La Argentina tuvo la fortuna de que lo advirtieran quienes contribuyeron a su conformación como país. Es nuestra obligación volver a proporcionarles a las nuevas generaciones esas anclas, acercarlas a esas referencias, sugerirles la importancia de descubrir esos sentidos. Son obligaciones indelegables que, una vez más, deberíamos asumir con responsabilidad humana y ciudadana.

BIBLIOGRAFÍA:

1. Sarmiento, D. F.: “Banquete en Chile, 5 de abril de 1884”, en *Obras Completas*, vol. XXII, Universidad Nacional de La Matanza, 2001, 185-188.
2. Citado por Posse A.: “La Argentina y la dimensión perdida”, en *La Nación*, 24 de abril de 1992.
3. Escrito de Marcos Sastre del 18 de febrero de 1874 en San Fernando, en el que hace un llamado a los legisladores y hombres del Gobierno para que presten atención a la “Educación del pueblo”.
4. Chueco, M. C.: *La República Argentina en su primer centenario*, Buenos Aires, Compañía Sud-Americana de Billetes de Banco, 1910.
5. Clemenceau G.: *La Argentina del Centenario*, Buenos Aires, Universidad Nacional de Quilmes, 1999.
6. Sarmiento, D. F.: “Revolución francesa de 1848” (Crónica, 28 de febrero de 1849), en *Obras Completas*, vol. IX, 28-29.
7. Orrico J.: *La enseñanza destruida*, Madrid, Huerga y Fierro, 2005.

Guillermo Jaim Etcheverry fue profesor de la Facultad de Medicina de la Universidad de Buenos Aires, instituciones de las que fue decano (1986-1990) y rector (2002-2006) respectivamente. Miembro de la Carrera del Investigador del CONICET, es miembro de número de las Academias Nacionales de Educación y de Ciencias de Buenos Aires y de la Academia de Artes y Ciencias de la Comunicación y de Ciencias Médicas de Córdoba.

EL MEJORAMIENTO GENÉTICO DE ESPECIES FORRAJERAS

ADRIANA ANDRÉS

Se estima que la superficie de pasturas cultivadas a nivel mundial duplica la de los cultivos de grano. Las pasturas son el pilar fundamental de la ganadería, pero también proveen de alimento a la fauna silvestre. Además, desempeñan un rol destacado en la conservación y la recuperación de los suelos, puesto que los ciclos de rotación cultivo-pastura son necesarios para asegurar la sustentabilidad de los agroecosistemas. Asimismo, son estratégicas para las economías nacionales, pues pueden ser cultivadas en tierras menos aptas para cultivos de grano.

En Argentina, las pasturas cultivadas constituyen uno de los componentes principales en la alimentación de la ganadería, la que en los últimos años fue reordenada en ambientes de menor potencial productivo por efecto de la expansión agrícola. La densidad ganadera del país es de 0,17 cab/ha, es decir, una carga animal de casi 6 has/cabeza; las mayores concentraciones de hacienda se registran en las provincias de Buenos Aires, Corrientes, Entre Ríos y Santa Fe. Estas mayores concentraciones de hacienda se corresponden en las provincias donde la producción y calidad de los recursos forrajeros deben sostener una alta carga animal para alcanzar niveles de rentabilidad competitivos con la producción agrícola.

En el NOA la principal actividad productiva es la cría y recría extensiva de bovinos sobre pastizales naturales de crecimiento estival con escasa incorporación de pasturas cultivadas. A pesar de que existe un manejo deficiente de los recursos forrajeros —además de la fragilidad de los ecosistemas y la limitada disponibilidad de agua para bebida animal—, el número de cabezas creció en los últimos años.

En el NEA la ganadería se basa en la utilización de pastizales naturales con nula, escasa o abundante presencia de montes naturales e implantados, lo que da origen a diferentes categorías de sistemas silvopastoriles. Las pasturas cultivadas con forrajeras perennes representan una parte mínima de la superficie dedicada a esta actividad y el mal manejo, la falta de agua de bebida, los problemas sanitarios y la sequía de los últimos años ha producido un importante descenso del stock ganadero.

Como consecuencia de la gran expansión agrícola en todo el territorio argentino, se han definido nuevos escenarios productivos para la ganadería, que exigen, por un lado, la intensificación en el uso de los recursos forrajeros y, por el otro, la necesidad de ofrecer tecnologías específicas para la producción de pasturas en condiciones marginales. La genética es una de las herramientas para mejorar la productividad y adaptabilidad de las pasturas a los escenarios ambientales variables.

EL MEJORAMIENTO GENÉTICO

El mejoramiento genético de las especies forrajeras es relativamente reciente: se sistematizó solo a comienzos del siglo XX, período en el cual muchos cultivares de especies forrajeras fueron desarrollados y liberados al mercado sobre la base de investigaciones desarrolladas en genética, pero también por la mejora de plantas recolectadas por el mundo, probablemente, de ambientes pastoriles reales. Los cultivares liberados en el siglo XX se caracterizan por su mejor valor nutritivo, mejor rendimiento y una mayor persistencia.

Si bien el aporte realizado por el mejoramiento genético de numerosos cultivos en el incremento de la producción agrícola de los últimos cincuenta años oscila entre el 30% y el 50%, en el caso de las especies forrajeras, la tasa promedio de ganancia genética ha sido sustancialmente inferior (4% década⁻¹ vs. 13,5% década⁻¹).

Algunas de las causas que ocasionaron esta situación son producto, entre otros motivos, de (i) la aplicación de ciclos largos de selección debido a que la mayoría de las especies forrajeras son perennes; (ii) los escasos avances en el índice de cosecha logrado debido a que en las pasturas se cosecha en su totalidad la parte aérea (hojas y tallos), compitiendo por los recursos fotosintéticos que la planta destina al crecimiento de las raíces; (iii) la escasa explotación genética que se realiza sobre la heterosis en la aplicación de los métodos de mejoramiento y (iv) la importancia de otros caracteres además del rendimiento total de materia seca de los cultivos forrajeros.

Es importante considerar que las estrategias utilizadas para lograr los incrementos productivos de los cultivos han estado sustentadas sobre métodos tradicionales de mejoramiento genético, dependientes de la variabilidad que ocurre naturalmente en ecotipos adaptados, en poblaciones naturalizadas y en cultivares viejos. Algunos de estos métodos comprenden la colecta de plantas, la evaluación de los recursos genéticos, diversos esquemas de apareamiento, la selección basada sobre el fenotipo conjuntamente con algunas pruebas de progenies y, finalmente, la regeneración por semilla o propagación vegetativa. También se han utilizado algunas técnicas más modernas, como la poliploidía y la mutagénesis.

En la actualidad, las herramientas biotecnológicas, como los marcadores moleculares, la selección asistida, la regulación de la expresión génica y las transgénesis, han permitido aumentar la variabilidad genética y la eficiencia de selección en algunos caracteres específicos. Estos métodos indudablemente aportarán al progreso del mejoramiento genético, pero dependerán de las bases fundamentales de los métodos tradicionales para comprobar su verdadero potencial.

ALGUNOS OBJETIVOS DE LOS PROGRAMAS DE MEJORAMIENTO

En términos generales, los objetivos primarios de la mayoría de los programas de mejoramiento de especies forrajeras han sido el incremento de la productividad, ya sea en términos de producción total y/o distribución estacional o de su persistencia. Más recientemente, se han dedicado mayores esfuerzos al mejoramiento de la calidad del forraje y a la resistencia a factores bióticos y abióticos. En el futuro es probable que estos últimos aspectos reciban aún mayor atención, pero adicionalmente existirá una demanda para generar cultivares forrajeros como fuente de nuevos productos y procesos.

EL RENDIMIENTO DEL FORRAJE

El rendimiento del forraje, expresado a través del peso total de la materia seca, es una medida de todos los factores ambientales que afectan el crecimiento de las plantas. Es un carácter controlado por muchos genes, altamente afectado por el ambiente y su heredabilidad es baja, por lo que el progreso por selección es lento. Entre los componentes del rendimiento del forraje en festuca alta, la tasa de intercambio de carbono, la tasa de expansión de la hoja y la tasa de respiración en oscuridad son caracteres fisiológicos que han demostrado potencial para ser seleccionados. En Argentina los progresos logrados por selección en especies como festuca alta, agropiro alargado, alfalfa, pasto ovido, cebadilla criolla y raigrás anual han demostrado una elevada varianza genética, afectada por la localidad y el ambiente de uso. En algunas especies, el germoplasma adaptado a determinadas regiones agroecológicas ha superado en productividad a los cultivares introducidos de otras latitudes.

Si bien el rendimiento de forraje es un carácter de mucha importancia, según la especie y el ambiente a seleccionar, otros caracteres particulares pueden tener mayor impacto. Por lo tanto, considerar solo el avance genético a través del mejoramiento de la materia seca puede subestimar seriamente el progreso global del programa de selección. Otros aspectos, como la perennidad de muchos cultivos forrajeros, les confiere el valor de proveer una cobertura de suelo que prevenga la erosión y proteja el agua del suelo contra la contaminación, como también la excesiva evaporación, que ocasiona problemas de salinidad. En este contexto, el alto rendimiento de forraje puede ser de importancia secundaria.

LA DISTRIBUCIÓN DEL RENDIMIENTO

El rendimiento de forraje debe ser considerado en relación con los requerimientos animales. La distribución del rendimiento dentro del año es más relevante en la determinación del número de animales que puede soportar el sistema pastoril que el rendimiento total anual. A menudo el éxito en el mejoramiento depende de la identificación correcta de los factores limitantes que deben ser superados para mejorar la productividad estacional.

La determinación de las curvas de producción de materia seca de diversas especies, como festuca alta, pasto ovido, agropiro alargado, alfalfa, raigrás anual y cebadilla criolla, permitió aplicar criterios de selección

que optimizaron el rendimiento total de forraje de los cultivares obtenidos. Dependiendo de la especie en consideración, se han mejorado caracteres como la relación hoja-tallo, la densidad de macollos, el diámetro de la planta, el ancho de las hojas. Sin embargo, en algunas de estas especies ha resultado infructuoso mejorar la productividad otoño-invernal debido a una marcada estacionalidad difícil de superar a través de la selección.

Existen otros factores que afectan la distribución del rendimiento. Por ejemplo, la falta de persistencia debido a una baja tolerancia a diversas condiciones de estrés, tales como la sequía, el frío, las enfermedades y aun el pastoreo, que condicionan el mejoramiento de la productividad estacional. La identificación de estos parámetros permite determinar las prioridades de mejoramiento o construir índices de selección.

LA TOLERANCIA A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS Y BIÓTICOS

Los estreses abióticos, como la salinidad y la sequía, afectan negativamente el crecimiento, la producción de biomasa y, por ende, el rendimiento de los cultivos forrajeros. Son considerados agentes estresantes de gran impacto en los cultivos y se manifiestan a través del cambio climático, la degradación de los suelos y la disminución de la calidad de las aguas. En agricultura, el término *sequía* se refiere a una condición en la cual la cantidad de agua disponible a través de la lluvia y/o el riego es insuficiente para satisfacer las necesidades de transpiración del cultivo. La *salinidad* es una condición del suelo que se caracteriza por la presencia de altos niveles de sales solubles en su perfil. De esta manera, los suelos se clasifican en salinos, cuando la conductividad eléctrica del extracto de saturación es igual o superior a 4 dS/m (mmhos/cm), lo que equivale aproximadamente a 40 mM de cloruro de sodio (NaCl). La mayoría de las investigaciones para realizar selección utilizan esta sal con el fin de evaluar la respuesta de las plantas frente al estrés salino y seleccionar individuos tolerantes.

Existen diversas estrategias tendientes a reducir el impacto de los estreses abióticos sobre la producción agrícola-ganadera. Estas involucran tanto acciones sobre los suelos como esfuerzos para lograr variedades más tolerantes. Esta última estrategia se considera más sustentable y viable económicamente. El mejoramiento genético convencional se basa fundamentalmente en la identificación y explotación de la variación natural intra- o interespecífica, mediante la selección de genotipos con caracteres asociados a tolerancia.

En Argentina los esfuerzos realizados en la selección por tolerancia a estrés salino se han concentrado en especies templadas, como alfalfa, *Lotus tenuis*, agropiro alargado, festuca alta y en especies megatérmicas, como *Chloris gayana* y *Cenchrus ciliaris*. En algunas de estas especies se han identificado genes responsables de la tolerancia a la salinidad. Pese a los avances obtenidos por mejoramiento genético, el progreso en la obtención de cultivares tolerantes ha sido lento y el éxito, limitado. Una de las razones más importantes es que la tolerancia a los estreses abióticos es un carácter cuantitativo complejo que es influenciado por un gran número de interacciones genéticas y ambientales.

Debido a que, dentro de determinadas especies, existe una amplia variabilidad genética, es posible seleccionar sobre poblaciones adaptadas un nicho ecológico particular, más que intentar cambios en la adaptabilidad del germoplasma a través de la selección. Algunas investigaciones realizadas en agropiro alargado y en raigrás anual determinaron que el rendimiento de forraje de poblaciones naturalizadas en suelos alcalinosódicos fueron superiores a los rendimientos de cultivares mejorados. Se atribuyó estos resultados al impacto de la selección natural para adaptabilidad y rendimiento.

La tolerancia al estrés causada por factores bióticos, como las enfermedades y las plagas, ha recibido relativamente poca atención en el mejoramiento de especies forrajeras. Entre las enfermedades más frecuentes en gramíneas se destacan las que afectan el área foliar y producen disminución del rendimiento y de la calidad del forraje. La importancia económica y el tipo de patógeno varían con la especie, el ambiente y la utilización del forraje. En pasto ovillo la estría parda de la hoja, causada por *Scolecotrichum graminis*, es la enfermedad de más frecuente aparición y más amplia difusión. Provoca pérdidas en el rendimiento y la calidad del forraje diferido de otoño. Los síntomas son manchas alargadas, debidas a la necrosis del parénquima, sobre las que se observan puntuaciones negras que son la fructificación del hongo. A través de la selección realizada sobre poblaciones naturalizadas de pasto ovillo recolectadas en la provincia de Buenos Aires, se logró obtener cultivares moderadamente resistentes a la enfermedad, sin afectar la digestibilidad del forraje.

En el caso de las royas, se ha demostrado que infecciones del orden del 20% de la roya de la corona (*Puccinia coronata*) sobre cultivares de raigrás anual provocan una reducción de 3,4 unidades en el contenido de los carbohidratos solubles durante el otoño y una reducción importante en el rendimiento de la materia verde. En términos de producción de leche y/o carne, se han evidenciado pérdidas importantes y disminución del consumo debido al rechazo por parte de los animales. En Argentina, se han desarrollado escalas de resistencia a roya de la corona en raigrás anual y, genéticamente, se ha comprobado que la resistencia es un carácter controlado por pocos

genes, altamente heredable y poco afectado por el ambiente. La aplicación de estos conceptos en la selección por resistencia a roya en raigrás anual ha permitido liberar al mercado nuevos cultivares adaptados a las condiciones de uso propias de los sistemas de producción de la pampa húmeda argentina.

La roya del tallo (*Puccinia graminis* Pers.) es otra de las enfermedades que afecta la productividad forrajera y el rendimiento de semillas de festuca alta. A través de la selección realizada sobre poblaciones naturalizadas argentinas con tolerancia a la enfermedad, se han liberado al mercado cultivares de mejor comportamiento sanitario.

LA PRODUCCIÓN ANIMAL Y LA CALIDAD DEL FORRAJE

La medida final del éxito del mejoramiento de especies forrajeras debe ser expresada en términos de cantidad y calidad de leche y carne. La producción animal puede relacionarse con diferencias en la digestibilidad del forraje en cuanto a los requerimientos de energía metabolizable (EM). Una diferencia del 13% en la digestibilidad de la materia seca orgánica de las gramíneas puede producir una diferencia de 2 MJ EM kg⁻¹. Se estima que esto puede ocasionar una diferencia de hasta 9 kg (45%) en el rendimiento de leche diaria, 0,5 kg (67%) en la ganancia diaria de carne vacuna y 100 g (50%) en la ganancia diaria de corderos.

Si bien la digestibilidad es de importancia central, no es el único factor de calidad que gobierna el producto animal. El valor nutritivo del forraje depende de sus constituyentes químicos y la implementación de estrategias de selección para mejorar la calidad solo se logra si se comprende el rol de cada constituyente celular en la nutrición animal. Existen numerosas evidencias que indican que hay suficiente variación genética como para realizar progresos significativos utilizando técnicas convencionales o moleculares de mejoramiento genético. La modificación de la fecha de floración, la modificación de la relación hoja-tallo, la alteración de las tasas de digestión de la pared celular, el incremento del flujo de proteína pasante y el mejoramiento del balance de aminoácidos para maximizar la síntesis de proteína bacteriana son algunos de los ejemplos del potencial genético para lograr dicho objetivo.

En el caso del contenido de los carbohidratos solubles, se ha determinado que se trata de un factor que confiere una ventaja nutritiva en la calidad de los raigrases tetraploides, lo que ha dado como resultado una producción animal superior y un incremento notable de la popularidad de estos cultivares. Algunos programas de mejoramiento han logrado también mejorar el aumento del contenido de minerales del forraje y remover factores de anticalidad, tales como alcaloides en falaris. Estos objetivos son importantes para mejorar la salud y el bienestar animal y, consecuentemente, la productividad.

LOS BENEFICIOS NUTRICIONALES DE LA LECHE Y LA CARNE

La importancia de los ácidos grasos conjugados (CLA) en la calidad de la carne producida bajo pastoreo ha cobrado reciente interés debido a sus efectos sobre la salud humana, de tipo anticancerígenos, antidiabéticos y antiteratogénicos, y su importancia en la reducción de la deposición de grasa corporal y la estimulación del sistema inmune. El forraje fresco presenta concentraciones marcadamente superiores de ácido linolénico, principal precursor de los CLA, respecto a otros alimentos. Por lo tanto, se han detectado altas concentraciones de CLA en animales bajo pastoreo en relación con los alimentados con dietas basadas en forrajes conservados o en concentrados. Aunque las proporciones en las que los diferentes ácidos grasos se encuentran presentes en gramíneas pueden estar genéticamente determinadas, no existen antecedentes de progresos logrados por selección.

LA PRODUCCIÓN DE SEMILLA

La liberación de cultivares con elevada producción de semilla y a precios competitivos para los productores es crítica para el éxito de los programas de mejoramiento genético.

Existen numerosos ejemplos de fracasos comerciales en la producción de cultivares con mala producción de semilla, independientemente de la producción y calidad del forraje. Este requerimiento económico de la producción de semilla ha impactado en especies forrajeras con bajos rendimientos de semilla y en mercados relativamente pequeños. Algunos países no tienen una industria semillera competitiva debido a razones climáticas o geográficas y son altamente dependientes de la producción de otros países.

El rendimiento de semilla es definido por diversos factores, entre ellos la fecha de floración, la fecha de cosecha, la resistencia a roya, la respuesta a fungicidas y la respuesta a reguladores de crecimiento. Tanto los

aspectos genéticos como el manejo del cultivo deben ser factores de alta importancia para asegurar el éxito en la producción de semillas. En Argentina, mejorar el rendimiento ha sido un objetivo central de los programas de selección y los avances han sido notorios.

LA APLICACIÓN DE LA BIOTECNOLOGÍA EN EL MEJORAMIENTO

El mejoramiento genético convencional de cultivos agronómicos se basa en la utilización de la variabilidad genética natural presente en diferentes ecotipos o creada a través de la recombinación sexual. En forma complementaria, la biotecnología aplicada a los cultivos permite un empleo más eficiente de la variabilidad genética existente, por medio de la identificación de los materiales más apropiados para integrar programas de mejoramiento genético convencional. Asimismo, existen herramientas biotecnológicas que posibilitan la generación de nueva variabilidad: identifican genes responsables de caracteres deseados y amplían, hasta otras especies, la fuente de genes disponibles para el desarrollo de nuevos cultivares, al atravesar los límites que presenta el cruzamiento sexual.

Diferentes herramientas biotecnológicas pueden contribuir a la generación de nuevos cultivares de especies forrajeras. Sin embargo, cabe mencionar que estas herramientas cobran importancia no solo en el desarrollo de productos comerciales, sino también en una iterativa construcción de conocimiento.

Entre estas técnicas de laboratorio se encuentran:

a) El cultivo *in vitro*

La regeneración de plantas a partir del cultivo *in vitro* de células, tejidos u órganos es posible para numerosas especies forrajeras de importancia económica, entre las que podemos mencionar festuca alta, raigrás, agropiro, cebadilla y alfalfa. Este grupo de técnicas brinda la posibilidad de efectuar propagaciones clonales, conservar germoplasma *in vitro* e inducir la expresión de variabilidad genética. Además, estos sistemas de regeneración de plantas representan una base experimental adecuada para llevar a cabo manipulaciones genéticas a nivel celular facilitando procedimientos como, por ejemplo, la producción de plantas transgénicas, la cual basa su metodología en la regeneración de un planta genéticamente homogénea a partir de una única célula ingenierizada.

b) Los marcadores moleculares

La naturaleza alógama de la mayoría de las especies forrajeras más importantes limita los análisis necesarios para determinar el nivel de variabilidad dentro de y entre poblaciones naturales y sintéticas. Debido a que los cultivares forrajeros son poblaciones sintéticas que muestran una alta heterogeneidad genética, la posibilidad de distinguir dos poblaciones depende de la comparación de variabilidad entre las poblaciones y dentro de ellas. Para esto, a la observación fenotípica de los caracteres y el empleo de métodos enzimáticos, se han sumado, en los últimos años, análisis sobre las secuencias del DNA, como los polimorfismos amplificados al azar (RAPD), en fragmentos de restricción (RFLP), en el largo de los fragmentos amplificados (AFLP) y en las secuencias simples repetidas (SSRP); técnicas más directas y predictivas que contribuyen sensiblemente a la caracterización de las variedades.

El desarrollo y la aplicación de varios sistemas de marcadores y la construcción de mapas de recombinación detallados permiten avanzar en el conocimiento del control genético de caracteres fenotípicos y en la identificación de individuos superiores. También hacen posible aumentar la eficiencia de la selección, el entendimiento y la obtención de heterosis, avanzar en el conocimiento de la interacción genotipo-ambiente, llevar a cabo programas de mejoramiento asistidos por marcadores y complementar la identificación de cultivares, entre otros beneficios.

Recientemente, estos métodos se han extendido al análisis de las poblaciones de hongos endofíticos presentes en festuca y *Lolium* con el objeto de identificar aislamientos que, conservando su aporte benéfico al cultivo hospedador, no produzcan las toxinas que afectan a los animales que los consumen y a las leguminosas consociadas.

c) La genómica

Este conjunto de tecnologías moleculares persigue la obtención de información estructural y funcional de genomas y transcriptomas completos, con el propósito de construir una visión amplia de los procesos biológicos. Así, permite la identificación de genes y el conocimiento de sus funciones y regulaciones. La construcción de este conocimiento en el área vegetal permite su ulterior transferencia hacia la creación de nuevos germo-

plasmas a través de diferentes estrategias. Esto puede suceder por el empleo de nuevos genes o de secuencias regulatorias identificados por medio de transformación genética con el objeto de crear nueva variabilidad no disponible naturalmente. Asimismo, la información recogida puede colaborar en un diseño racional de variedades por el empleo dirigido de marcadores funcionales de DNA generados para monitorear y explotar la variabilidad genética preexistente.

Los proyectos genómicos requieren de una importante inversión económica, por lo cual son, generalmente, el producto de un esfuerzo concertado entre varias instituciones, las que suelen abrir la información generada a la comunidad científica internacional vía Internet.

Recientemente, se han descifrado en forma completa los genomas de *Arabidopsis thaliana* y arroz, y mucha de la información producida se convierte en insumo para el mejoramiento de otros cultivos. Además, se ha avanzado en proyectos equivalentes en plantas modelo para las forrajeras leguminosas, como lo son *Lotus japonicus* y *Medicago truncatula*.

d) La transgénesis

La ausencia de suficiente variabilidad genética natural en un cultivo, que permita responder, por medio del mejoramiento convencional, a las necesidades de los sistemas productivos, hace pertinente la introducción en su genoma de genes heterólogos, perfectamente caracterizados, cuya expresión puede colaborar en la adquisición de esa característica agronómica deseada. La disponibilidad de protocolos de cultivo *in vitro*, así como la puesta a punto de metodologías de transformación genética en algunas especies forrajeras, hace factible aplicar esta estrategia a este tipo de cultivos. Asimismo, las técnicas más utilizadas para incorporar el o los transgenes en la célula receptora son la transformación genética mediada por la bacteria *Agrobacterium tumefaciens*, para el caso de las leguminosas, y el bombardeo con microproyectiles cubiertos de DNA, para el caso de las gramíneas. Entre los caracteres que se busca incorporar a través de esta tecnología pueden mencionarse la resistencia a herbicidas, la resistencia a enfermedades o plagas y la calidad.

Es esperable que las biotecnologías mencionadas produzcan un impacto cualitativo en el mejoramiento de los cultivos forrajeros. Cabe señalar, sin embargo, la naturaleza complementaria de estas técnicas que, solo sumadas a los esfuerzos de mejoradores, fitopatólogos y especialistas en animales, conformarán el accionar multidisciplinario que se necesita para acelerar los desarrollos de variedades forrajeras competitivas.

ESCENARIO COMERCIAL EN PASTURAS TRANSGÉNICAS

Es notorio que, hasta el presente, se hayan liberado muy pocos cultivares comerciales transgénicos de especies forrajeras en el mundo. Recientemente, la Agencia Norteamericana de Protección Ambiental (EPA) concedió el estatus de *desregulado* a dos eventos de alfalfa con resistencia al herbicida glifosato, desarrollados en forma conjunta por las firmas Monsanto y Forage Genetics de Estados Unidos. Esta situación permite prever la llegada de este material a los mercados en forma inminente. Otro desarrollo técnicamente exitoso de una pastura obtenida por transgénesis, como el caso del *creeping bentgrass* (*Agrostis stolonifera*) con resistencia al glifosato por parte de Monsanto, enfrenta cuestionamientos regulatorios referidos al alcance de la dispersión del polen y su impacto sobre poblaciones naturales vecinas de esa especie.

Este escenario contrasta con el caso de los cultivos de cosecha, cuyo primer producto comercial transgénico data del año 1996. De un modo amplio, existen varias razones para explicar el retraso mencionado en el acceso al mercado de especies forrajeras transgénicas. Entre esas razones se pueden mencionar:

i) Tecnologías especie-específicas. El desarrollo de protocolos eficientes de transformación genética requiere de una optimización para cada especie en particular. Por ello, la tecnología se desarrolló primero para cultivos de cosecha, ya que los mercados de semilla de especies forrajeras son relativamente pequeños, lo cual los hace menos atractivos para el sector privado y dificulta el acceso a tecnologías costosas.

ii) Mejoramiento genético complejo. Debe considerarse que el germoplasma transgénico es posteriormente incorporado al proceso de mejoramiento genético convencional. En este contexto, el hecho de que los cultivares de forrajeras con frecuencia sean genéticamente heterogéneos constituye una dificultad adicional, dado que es necesario seleccionar, durante el proceso de síntesis del cultivar, la progenie que contiene los transgenes.

iii) Percepción subvaluada. A diferencia de lo que ocurre con los cultivos de cosecha, existe una percepción generalizada de que las plantas forrajeras constituyen un insumo relativamente menor de un sistema productivo más complejo. De igual forma, cabe señalar la existencia de nichos comerciales con tanta potencialidad

comercial como el forraje, como el caso de las gramíneas para césped, que constituyen, por ejemplo, el segundo mercado de semillas de Estados Unidos.

iv) *Manejo complejo*. El uso de pasturas consociadas puede añadirle una complejidad mayor al sistema de producción. Este aspecto es fácilmente visualizable si consideramos el caso de una forrajera con un transgén que le confiere resistencia específica a un herbicida, el cual puede afectar a la especie acompañante.

BIOTECNOLOGÍA DE PASTURAS EN LA ARGENTINA

En general, la biotecnología aplicada a los cultivos ha mostrado ser una poderosa herramienta para la adquisición de conocimiento sobre los aspectos básicos de la genética, los mecanismos regulatorios de la expresión génica y sobre la relación, estructura y función de numerosos genes de interés. Asimismo, la información básica generada se convierte en un insumo crítico para el desarrollo de proyectos aplicados a la obtención de germoplasma de interés comercial, que permiten enfrentar problemas de difícil resolución por medio del mejoramiento convencional. Cabe destacar que la aplicación de esta tecnología a nivel nacional puede dar respuesta, además, a limitaciones propias de nuestros sistemas productivos que, por cuestiones estratégicas o de escala, pueden no ser adecuadamente atendidas por empresas con intereses internacionales. A modo de ejemplo, el importante incremento de las áreas de nuestro país sembradas con soja crea un nuevo escenario cuya consecuencia es el desplazamiento de la ganadería a zonas marginales. Este fenómeno implica un fuerte requerimiento de mejoramiento genético de especies forrajeras orientado hacia este objetivo. Del mismo modo, en zonas agrícolas es necesario disponer de pasturas más productivas que puedan competir económicamente con cultivos de cosecha. Frente a estas necesidades, las herramientas biotecnológicas ya muestran un estado de madurez en nuestro país como para comenzar a hacer su aporte.

En relación con la producción de plantas transgénicas, sin embargo, cabe mencionar que, resuelto el plano técnico, otros aspectos no menos gravitantes deben ser considerados en la planificación de cualquier proyecto de desarrollo que involucre esta tecnología. Entre ellos, la naturaleza apropiable de sus productos impone un escenario de limitaciones y oportunidades que debe ser abordado con un exhaustivo análisis de propiedad intelectual nacional y/o internacional por parte de especialistas en la materia.

En el plano económico, el análisis de factibilidad de este tipo de proyectos debe contener elementos que no son habituales en los análisis *ex ante* de desarrollo de cultivares por métodos convencionales. Así, no puede soslayarse el componente referido a estudios de bioseguridad del material obtenido que las normativas regulatorias les imponen para acceder a los mercados. Estos análisis requieren de una inversión considerable que puede, en algunos casos, superar toda la efectuada para la obtención del material.

Finalmente, un aspecto que merece ser atendido es el de la percepción pública. Si bien los productores agrícolas de nuestro país han adoptado aceleradamente los materiales de base biotecnológica que el mercado les ofreció y, en general, el consumidor no se mostró refractario a sus productos, la irrupción de toda nueva tecnología de alto impacto debe estar acompañada de una tarea de comunicación que permita una decisión informada por parte de los usuarios y consumidores. En esta tarea no pueden quedar exceptuadas las instituciones del Estado de manera que se asegure la divulgación de información objetiva.

LOS NUEVOS DESAFÍOS

A nivel mundial, el futuro requerirá del desarrollo de cultivares forrajeros para superar los siguientes aspectos globales: (i) un clima muy inestable e impredecible; (ii) una creciente población mundial que requiere una dieta enriquecida en productos animales; (iii) un aumento de las actividades humanas con impacto ambiental negativo. Estas tendencias ofrecen desafíos y oportunidades a los genetistas y mejoradores para desarrollar cultivares que sean productivos, muestren resiliencia al cambio climático y tengan un efecto positivo en el ambiente. La interdisciplinariedad y las acciones interinstitucionales serán aspectos centrales para avanzar en estos objetivos.

Adriana Andrés es ingeniera agrónoma por la UNLP; MSc en Genética Vegetal por la UNR y PhD por Reading University, Reino Unido. Es directora de la Escuela de Ciencias Agrarias Naturales y Ambientales de la UNNOBA, profesora titular de Mejoramiento Genético de las carreras de Ingeniería Agronómica y Licenciatura en Genética de la UNNOBA. Es también coordinadora nacional del Proyecto Específico "Desarrollo de cultivares superiores de especies forrajeras para sistemas ganaderos y agrícola-ganaderos de la Argentina" del INTA.

UNNOBA LA UNIVERSIDAD

La Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires (UNNOBA), es una universidad nacional, pública y gratuita que desempeña un rol de liderazgo en la región.

Con sedes en Junín y Pergamino, en el corazón agrícola-ganadero de la República Argentina, aproximadamente a 250 kilómetros de la Ciudad de Buenos Aires.

Actualmente cuenta con cerca de 10.000 estudiantes provenientes de todo el país. Desde su creación en el año 2002, y aprovechando el contexto geográfico en el que se inserta, ha logrado posicionarse como un referente estratégico.

En su visión promueve el espacio interdisciplinario de interacción de la investigación, la docencia, la extensión y la transferencia, en un marco de calidad y pertinencia y en un clima de libertad, democracia, justicia y solidaridad.



OFERTA ACADÉMICA

ESCUELA DE CIENCIAS AGRARIAS, NATURALES Y AMBIENTALES

Agronomía

- Ingeniería Agronómica

Alimentos

- Ingeniería en Alimentos
- Tec. en Prod. de Alimentos

Genética

- Lic. en Genética

ESCUELA DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y JURÍDICAS

Económicas

- Lic. en Administración
- Contador Público

- Tec. en Gestión Pública
- Tec. en Gestión de Pymes

Jurídicas

- Abogacía
- Martillero y Corredor Público

Salud

- Lic. en Enfermería
- Enfermería

ESCUELA DE TECNOLOGÍA

Diseño

- Lic. en Diseño Gráfico
- Tec. en Diseño Gráfico
- Lic. en Diseño de Indumentaria y Textil
- Tec. en Diseño de Indumentaria y Textil

- Lic. en Diseño Industrial
- Tec. en Diseño Industrial

Informática

- Ingeniería en Informática
- Lic. en Sistemas
- Analista de Sistemas
- Tec. Universitaria en Soporte Informático

Ingeniería

- Ingeniería Industrial
- Ingeniería Mecánica
- Tec. en Mantenimiento Industrial
- Tec. en Mantenimiento Ferroviario

Información

www.unnoba.edu.ar

