

CIENCIA E INVESTIGACION

Las Invasiones Biológicas

Biosensores

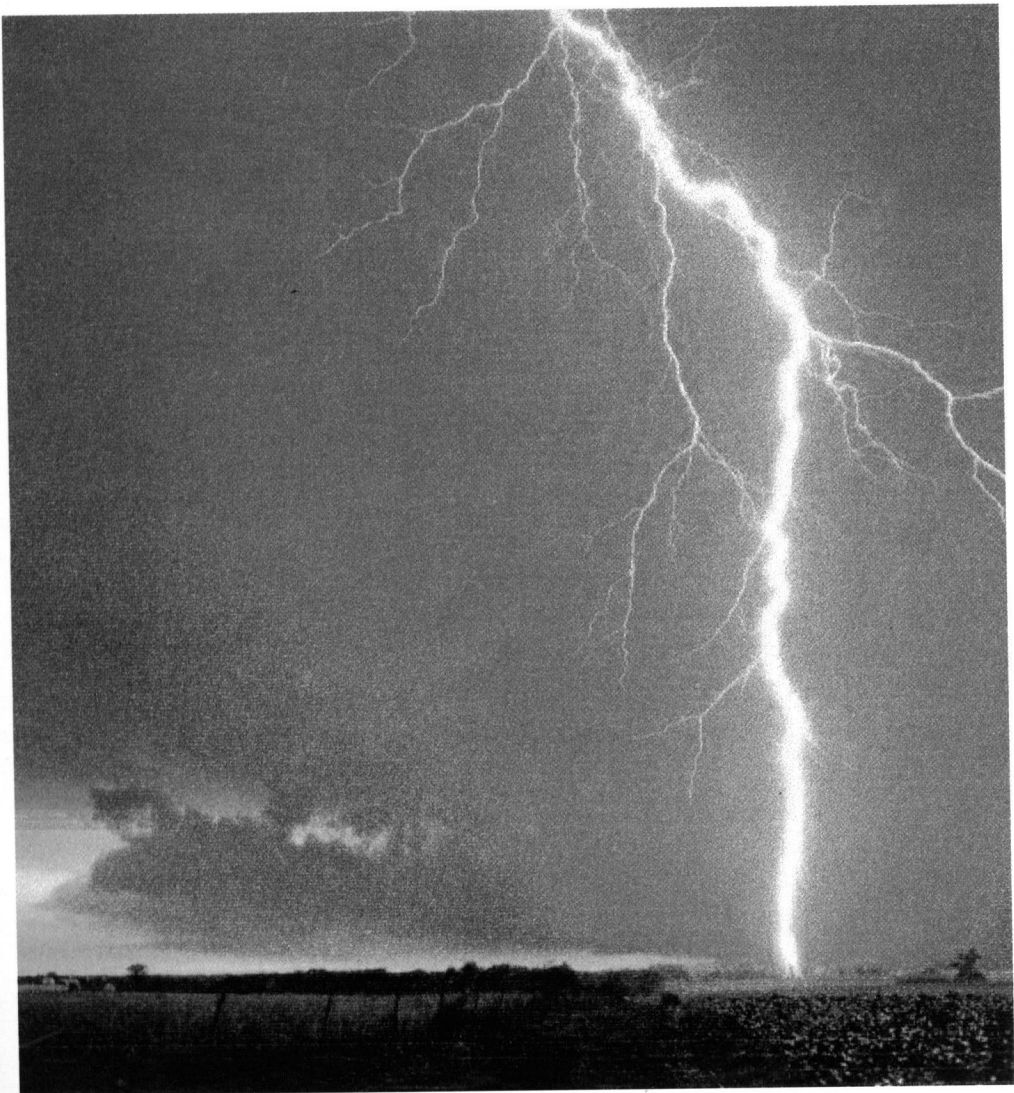
Termodinámica del No Equilibrio

El Ozono en la Antártida

ASOCIACION ARGENTINA PARA
EL PROGRESO DE LAS CIENCIAS

TOMO 51 nº 1 y 2

\$ 4.00



Esta edición de **CIENCIA E
INVESTIGACIÓN** es editada con
un subsidio de **YPF S.A.**

SUMARIO

4

COMPETENCIA BIOLÓGICA

Las Invasiones Biológicas. Componente ignorado del Cambio Global. Por *Nancy Correa y Demetrio Boltovskoy*. Las invasiones biológicas suelen producir un gran impacto en los medios económico, ecológico y social, especialmente cuando se convierten en plaga.

15

BIOELECTROQUÍMICA

Biosensores. Por *Eduardo Cortón*. Los Biosensores prometen poner a nuestra disposición nuevos y más sensibles métodos en las más variadas áreas de la Tecnología y el Conocimiento

22

FISICA

Termodinámica del No Equilibrio. La Física ante la complejidad del Mundo Real y el Carácter Evolutivo del Universo. Por *Juan R. de Xammar Oro*. La termodinámica del No Equilibrio tiene gran aplicación en los sistemas biológicos, debido a su gran complejidad.

31

INVESTIGACIONES HOY

La capa de Ozono en la Península Antártica. Parte II: El Período posterior a la Erupción del Monte Pinatubo. Por *Horacio A. Cazeneuve y Carlos A. Rinaldi*.

36

HISTORIA DE LA CIENCIA Y LA TÉCNICA

El descubrimiento de la Fisión Nuclear. Por *Renato Radicella*.

43

NOTA

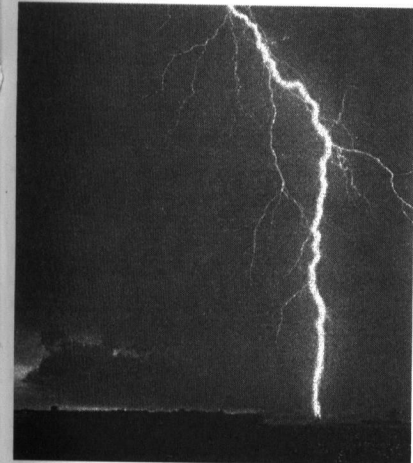
La importancia de preservar los recursos genéticos forestales autóctonos: una urgencia nacional. Por *Juan H. Hunziker*.

45

NUESTRAS NOTICIAS

Asamblea anual Ordinaria de la Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias. Homenaje a los Dres. Alberto C. Taquini y Alberto Pedro Calderón e Ing. Orlando Eugenio Villamayor

CIENCIA E INVESTIGACION: Revista de información científica. Es el órgano oficial de difusión de la Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias, Av. Alvear 1711, (1014) Capital Federal. Teléfono: 811-2998. Está permitida su reproducción total o parcial citando la fuente. Editor responsable: Editorial Ciencia e Investigación. Registro Nacional de la Propiedad Intelectual N° 82.657. Realización gráfica: Estudio Sigma S.R.L. Tel.: 824-9431. Precio por ejemplar: \$ 4.00. Números atrasados: se abonan igual al último precio de tapa. Distribuidor en Capital Federal: Vaccaro Hnos. S.A., Entre Ríos 919, Piso 1°, (1080) Capital. Teléfono: 305-3908/3854. En el interior: D.I.S.A. Distribuidora Interplazas S.A., Pte. L.S. Peña 1836 (1135) Capital Federal. Teléfono 304-9377/4973



Los desequilibrios en la Naturaleza son pasos cruciales para la generación de sistemas estructurados y ordenados

CIENCIA E INVESTIGACION

Primera revista argentina de información científica. Fundada en enero de 1945.

Tomo 51 n° 1 y 2 Correspondiente a los meses de setiembre-octubre de 1998. Impreso en octubre 1998.

COMITÉ EDITORIAL

Director

Dr. Horacio H. Camacho

Editores Asociados

Ing. Juan C. Almagro

Dr. Alberto Baldi

Dr. Máximo Barón

Dr. Demetrio Boltovskoy

Dr. José E. Bonaparte

Dr. Juan C. Calvo

Dr. Marcelo Dankert

Dr. Julio Gratton

Ing. Arturo Martínez

Ing. Renato Radicella

Dr. Sadi U. Rifé

Dr. Carlos Rinaldi

Dr. Carlos Segovia Fernández

Ing. Roberto B.A. Solanilla

Junta Asesora

Dr. Jorge Comín

Dr. Luis A. Santaló

Ing. Alberto Soriano

Editorial

CIENCIA E INVESTIGACION

COLEGIADO DIRECTIVO

Presidente

Dr. Alberto Baldi

Vicepresidente

Dr. Marcelo Dankert

Secretario

Dr. Máximo Barón

Tesorero

Dra. Clara K. Fishman

Protesorero

Dr. Horacio H. Camacho

Miembros titulares

Dra. Nidia Basso

Dr. Eduardo Charreau

Dr. Augusto García

Dr. Eduardo L. Palma

Dr. Sadi U. Rifé

Dr. Carlos A. Rinaldi

Dr. Carlos Segovia Fernández

Dr. Alberto C. Taquini (h)

Dra. Susana E. Trione

Dr. Marcelo Vernengo

Sociedades Científicas que
participan del Colegiado

Sociedad Argentina de Biología

Sociedad Argentina de

Farmacología Experimental

Sociedad Argentina de

Investigaciones Bioquímicas

Sociedad Argentina de

Investigaciones Clínicas

Unión Matemática Argentina

Miembros Fundadores

Dr. Bernardo Houssay

(1887-1971)

Dr. Eduardo Braun Menéndez

(1903-1959)

AV. ALVEAR 1711 - 4° PISO

TEL. 811-2998

(1014) BUENOS AIRES - ARGENTINA

ISSN - 0009 - 6733

Ciencia y política

Con mucha frecuencia se habla en el ambiente científico del desconocimiento que tiene el político de nuestro país acerca de todo lo referente a la ciencia y a la tecnología. Es indudable que este desconocimiento es real, que el interés de los políticos en el tema es ínfimo y que la prioridad que el gobierno asigna al desarrollo científico y tecnológico es muy baja. Los resultados de esta situación son graves y están a la vista.

Tratemos de analizar el fenómeno. La sociedad actual vive en un medio permeado por la tecnología. Los productos de la tecnología intervienen en todos los aspectos de la vida contemporánea y con el tiempo se nos han hecho indispensables. Sin embargo el lego desconoce cada vez más los principios del funcionamiento de los artefactos que utiliza. Es tal la complejidad de la tecnología puesta en juego en la vida contemporánea que en muchos casos su comprensión escapa hasta al científico de otras disciplinas.

No es de extrañar entonces que, en un país de escaso desarrollo tecnológico como el nuestro, el grueso de la población tenga un concepto muy impreciso de la importancia de la ciencia y de la tecnología. Y, por supuesto, conoce mucho menos de los procesos que llevan a una sociedad a desarrollarse y a consolidarse tecnológicamente. En el mejor de los casos el lego tiene una idea romántica, muy alejada de la realidad, de la ciencia y de los mecanismos que hacen a su desenvolvimiento.

El ciudadano común *hasta ahora* ha intuido que el desarrollo científico y tecnológico es positivo para la sociedad, pero no ve claramente cuáles son las condiciones que hacen posible este desarrollo. (Y digo *hasta ahora*, pues el fundamentalismo ambientalista que se está infiltrando paulatinamente en la sociedad contemporánea puede hacer cambiar esta visión favorable. Temo que también entre nosotros surja una posición de rechazo indiscriminado a la ciencia que ya está apareciendo en algunas comunidades de otros países. Pero esto sería objeto de otro análisis...).

Volvamos a nuestro tema. Vivimos en una sociedad que utiliza cada vez más un conjunto de sistemas tecnológicos cuya comprensión está fuera de su alcance y cuya génesis y dinámica desconoce. A esta sociedad se le ha ido enseñando, especialmente en los últimos tiempos, que la ciencia es algo así como un lujo y que la tecnología es una mercancía que se adquiere cuando se la necesita (por supuesto, sin aclarar que muchas veces la tecnología no está en venta ni se tienen los recursos para comprarla). ¿Podemos sorprendernos si los políticos que han surgido del voto de nuestra sociedad desconocen la importancia de la ciencia y de la tecnología y se desentienden de su desarrollo? ¿No sería más positivo preguntarnos qué ha hecho la comunidad científica y tecnológica argentina para que el ambiente político tome conciencia del problema y lo incorpore de manera permanente a sus planes de gobierno con el relieve que merece?

En la Argentina se cumple el viejo axioma según el cual la conciencia de la conducción política sobre la importancia de la ciencia es proporcional al nivel de desarrollo de la investigación científica que se realiza en el país. Por otra parte, como los dirigentes no tienen esta conciencia, difícilmente elaboran y llevan a cabo una política que promueve el desarrollo científico. Estamos así en un perfecto círculo vicioso.

Los científicos suelen tomar contacto con el poder político en forma esporádica y por lo general sólo en situaciones de crisis. Muy pocos son los que militan como científicos en un partido político. Por su lado los partidos sólo se acuerdan del tema de la ciencia y de la tecnología poco antes del comienzo de la campaña electoral, en el mejor de los casos. Quieren incluir en su plataforma algo referido a la ciencia y a la tecnología más que por convencimiento, por imitación de lo que sucede en otras latitudes. Convocan así, apresuradamente, a un grupo de científicos y tecnólogos para que los ayude a redactar un documento programático. El resultado es por lo general lamentable: el documento es superficial y reúne una serie de generalidades, de lugares comunes, de expresiones de deseo sin fundamentos ni análisis realistas.

Como puntualizó S.U. Rifé en su reciente editorial de **Ciencia e Investigación**, en las listas de candidatos a cargos electivos no suelen figurar personas vinculadas con la actividad científica y tecnológica. Este hecho es de por sí muy grave. Analicemos además qué pasa en la rama ejecutiva del gobierno. Cuando un partido llega al poder, se encuentra con la tarea de designar a las autoridades del sector. El partido por lo general no dispone de científicos o tecnólogos de confianza, fogueados en el arte de la política partidaria y capaces de efectuar una buena administración acorde con los lineamientos de la agrupación. En el mejor de los casos buscará gente de prestigio y respetada en el ambiente, simpatizante con su ideología, y le asignará los puestos clave. La experiencia nos dice que es muy probable que todo termine en un fracaso. La base programática del partido en el área de ciencia y técnica es imprecisa y la persona, la mayoría de las veces, no tendrá experiencia en los vericuetos de la política ni en la administración del Estado. A esto se agrega un hecho fundamental: el funcionario no gozará dentro del partido de la confianza acrisolada que sólo da el haber militado en el pasado, hombro a hombro, con las otras personas que forman la agrupación y que ahora integran el gobierno. Las consecuencias se verán muy pronto: al establecer las prioridades, en la puja natural entre sectores de gobierno el responsable del sector científico llevará las de perder. La actividad quedará poco a poco relegada, cundirá el desánimo, muchos de los bien intencionados abandonarán el barco.

Para oscurecer aún más el panorama, hay que tener en cuenta que en nuestro país los sectores productivos no están acostumbrados a recurrir a los desarrollos nacionales para alimentar

su necesidad de innovación. En consecuencia el político no se siente motivado por aquellos grupos de poder que podrían aprovechar, en el corto o en el largo plazo, los resultados de la investigación científica y tecnológica. Si a esto le agregamos que el número de votantes que puede aportar el conjunto del sistema de ciencia y técnica en la Argentina es francamente exiguo, entenderemos aún más el desinterés del político.

Estas consideraciones nos hacen pensar que es muy difícil que la situación mejore si se mantienen las condiciones de contorno actuales. Quizás algunos de nuestros reclamos sean atendidos circunstancialmente, pero el hecho de base no cambiará. La clase política no tendrá conciencia de los beneficios que acarrea a la sociedad la investigación científica y tecnológica y actuará en consecuencia.

Es necesario que hagamos un examen de conciencia. ¿Cuántos de nosotros participan en manera estable de las actividades de un partido político? Seguramente muy pocos. Se me dirá que en buena parte de este siglo la historia de nuestro país no ha alentado a la actividad política de sus ciudadanos. Es cierto. Pero también es cierto que desde hace quince años vivimos, si bien de forma todavía imperfecta, en un régimen constitucional donde el papel de la política es crucial. Cada vez es más difícil pretender la comprensión y el apoyo de los políticos cuando nos mantenemos aislados, cuando no participamos y en muchos casos menospreciamos a la actividad política. ¿No sería conveniente que cada partido tuviera un pequeño "gabinete" permanente de ciencia y técnica, como sucede en los partidos de la mayoría de los países desarrollados? ¿Un "gabinete" que siguiera día a día la actividad científica y tecnológica del país, que participara en la preparación de los programas de gobierno y del cual surgirían en forma natural algunos de los legisladores y los funcionarios del sector de ciencia y técnica, si el partido ganara el poder? Naturalmente un "gabinete" de estas características debería surgir, en cada agrupación política, de los miembros activos directamente vinculados con el quehacer científico y tecnológico. Como todos los miembros, éstos participarían de la vida interna del partido, de sus debates, de sus estudios. Transmitirían a los otros sus vivencias, sus puntos de vista, la conciencia de las necesidades de su sector. Tendrían también la oportunidad de conocer desde una óptica partidaria las necesidades de los otros sectores de la comunidad. Esto les dará la posibilidad, una vez llegados al gobierno, de articular con los otros funcionarios medidas armónicas que, sin descuidar los requerimientos del conjunto de la sociedad, atiendan a las necesidades del sistema de ciencia y técnica.

Es necesario entonces que el científico y el tecnólogo participen activamente de la vida de los partidos y que hagan oír su voz. El camino estará lleno de obstáculos, empezando por la dificultad que tiene el científico de entender y apreciar a la actividad política. De esta dificultad se deriva con frecuencia un cúmulo de prejuicios muy difíciles de vencer que limitan la capacidad de acción del científico en la política partidaria. La participación no va a ser fácil y requerirá mucho tiempo, pero será quizás la única forma de salir del letargo en el que se encuentran ahora la ciencia y la tecnología argentinas. En este momento, intervenir activamente en política parece el único medio que está a nuestro alcance para romper el círculo vicioso en el cual nos vemos encerrados.

Renato Radicella

NUESTROS LECTORES OPINAN

Buenos Aires, 10 de Agosto de 1998

Doctor Sadi Ubaldo Rifé
Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias

De mi consideración:

Quisiera referirme a su excelente editorial "La Ciencia en manos de los Científicos" publicado en el último "Ciencia e Investigación".

Tal cual usted lo describe, también observo desde hace tiempo con inquietud, la componente casi nula de investigadores en áreas gubernamentales con poder de decisión sobre ciencia y tecnología (CyT): la escasa presencia y participación de los científicos para definir las políticas federales, prioridades nacionales y distribución de recursos en CyT.

Concretamente, de las 2 últimas se ocupa el GACTEC integrado por Ministros y Secretarios. De las primeras se encarga la SECyT, así también como de elaborar el Plan Plurianual de CyT. Sobre el cual, han sido consultados sólo unos 500 de los 23.000 investigadores residentes en Argentina. A mi criterio, este programa a pesar de su imponente estructura, no tiene la escala suficiente como para generar el "verdadero progreso del país".

La ciencia, en Argentina, está en manos de funcionarios, políticos y economistas. hasta ahora los científicos somos como observadores, incluso hasta de nuestra propia problemática, cuya resolución permanece tercerizada. De aquí la importancia de repensar nuestra participación social.

Avalando la totalidad de los conceptos profundos de su nota, entiendo como uno de los postulados fundamentales su sentencia: "Son sólo los científicos los que tienen bien en claro cuáles son las prioridades en ciencia" y, no tengo duda que si queremos para este gran país proyectos en gran escala, los científicos debemos retomar el control de la Ciencia.

Lamento dos cosas. La primera que "Ciencia e Investigación" no tenga algo así como un "Correo de Lectores" para intercambio de ideas y opiniones. La segunda, que no tenga distribución al público en general, para que mucha más gente pueda conocer su editorial. Si usted lo considera pertinente, le ruego transmita la presente, al Comité Editorial y autoridades de la Asociación.

Pero lo importante, es ingeniarse para que estas ideas no queden sólo como digna expresión de deseos, sino que trasciendan, y crear una corriente para materializarlas.

Sin otro particular le envío un cordial saludo, quedando a su disposición.

Gustavo Herren

Lic. en Cs. Física (UBA)

Miguel Cané 610 (1646) San Fernando
Pcia. de Bs. As. - Tel/Fax 745-9925

LAS INVASIONES BIOLÓGICAS COMPONENTE IGNORADO DEL CAMBIO GLOBAL

Por Nancy Correa* y Demetrio Boltovskoy**

Las invasiones biológicas constituyen un problema pocas veces considerado con la atención que merece. La introducción de especies extranjeras en un nuevo ambiente suele producir un inesperado impacto económico, ecológico y social; particularmente si se convierten en plagas, los daños ocasionados pueden llegar a millones de pesos.

En 1996, varias plantas industriales y de producción de energía eléctrica ubicadas a orillas del Río de la Plata y aguas arriba, en las márgenes del Paraná, comenzaron a experimentar problemas relacionados con el suministro de agua de río para su funcionamiento. El agua de río es utilizada desde hace décadas para refrigerar diferentes componentes de las instalaciones y, hasta ese momento, fuera de algunos problemas menores asociados con la corrosión o derivados de taponamientos eventuales de filtros con camalotes o peces, el agua de río no había ofrecido pro-

blemas importantes. Esta vez, sin embargo, los inconvenientes habían llegado a proporciones alarmantes:

gran parte de los conductos estaba densamente tapizada por una capa de varios centímetros de espesor for-



Fig. 1.- "Colonia" de *Limnoperna fortunei* creciendo dentro de un caño de cemento.

* Nancy Myriam Correa es Licenciada en Ciencias Biológicas de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (UBA) especializada en Hidrobiología, desarrolla sus actividades profesionales en la sección Biología del Servicio de Hidrografía Naval, Av. Montes de Oca 2124, Buenos Aires.

** Demetrio Boltovskoy es Doctor en Ciencias Naturales, Profesor Asociado de la Universidad de Buenos Aires (Departamento de Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales) e Investigador Principal del CONICET.

mada por numerosos estratos superpuestos de un pequeño mejillón de hasta 2-3 cm de largo (Fig. 1). Las densas colonias con miles de individuos por metro cuadrado reducían la luz de los conductos generando al mismo tiempo una superficie irregular y entorpeciendo de esta manera el flujo. A intervalos irregulares fragmentos de esta masa de valvas se desprendían de las paredes tapando los filtros e interrumpiendo el suministro de agua.

Al efectuar consultas con otras instalaciones con necesidades de agua de río semejantes, los afectados descubrieron que el problema era generalizado, y que en algunos casos se había comenzado a percibir un par de años antes, desde 1994-1995. Para las empresas consultoras contactadas el problema también era inédito, y sólo podían recomendar soluciones basadas sobre experiencias afines en otros lugares del mundo.

A esta altura, muy pocos conocían la identidad del causante del problema: *Limnoperna fortunei* (Fig. 2), un pequeño molusco bivalvo originario del sudeste asiático que ingresó en el país probablemente alrededor de 1991, y cuya dispersión y crecimiento numérico en el área de influencia del delta del Río Paraná y estuario superior del Río de la Plata estaba ocurriendo a una velocidad vertiginosa.

El arribo de *Limnoperna* seguramente está asociado al incremento en el intercambio comercial entre nuestro país y los "tigres" de Asia: China, Hong Kong, Taiwan, Filipinas, Malasia, Indonesia (en 1991 este intercambio fue 4 veces superior al registrado el año anterior; ver Fig. 3). Los buques que cubren estas rutas cargan agua de lastre en el puerto de origen y la descargan en los puertos de destino, junto con toda la flora y la fauna originales. Parte de los orga-

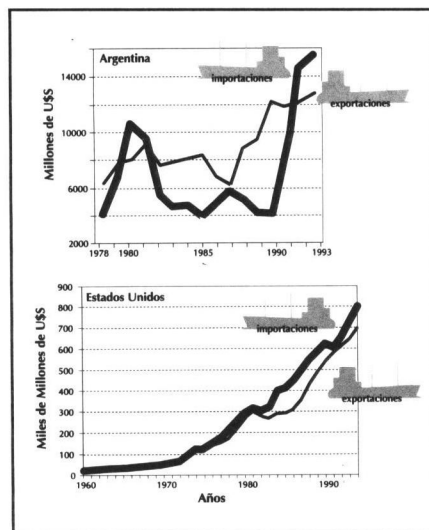


Fig. 3.— Evolución del comercio exterior de la Argentina entre 1978 y 1993, y de los EEUU, desde 1960.

nismos transportados mueren por el camino, y otros no resisten las condiciones del ambiente donde son liberados. Pero de tanto en tanto algunos pocos sobreviven al viaje (ya sea en forma de organismos adultos o en sus estadios larvales, que en el caso de los moluscos se encuentran suspendidos libremente en el agua) y, si se encuentran con un ambiente propicio en el lugar donde fueron liberados, se asientan definitivamente.

Limnoperna fortunei es un típico ejemplo de especie invasora; habitante de un determinado sistema ecológico que es trasladado por distintos medios a otras regiones donde prospera. Estas especies se caracterizan por presentar un fuerte potencial biótico, una amplia plasticidad ecológica y un alto poder de acomodación, permitiéndoles de esta forma invadir y establecerse en otras regiones, donde frecuentemente se vuelven dominantes. La introducción de estas especies extranjeras al nuevo ambiente a menudo produce un inesperado impacto económico, ecológico y social; frecuentemente llegan a ser tan dañinas para la economía que se convierten en plaga.

Debido a su llegada tan reciente, muy poco es lo que sabemos por ahora acerca de *Limnoperna*, aunque su impacto sobre la industria ya es



Fig. 2.— *Limnoperna fortunei*, el molusco bivalvo que invadió la Argentina alrededor de 1991.

sensible. Sin embargo, esta inmigración tiene un paralelo muy cercano con el azote que se abatió sobre los EE.UU. con la entrada a ese país de *Dreissena polymorpha*, el "mejillón cebra", otro bivalvo llegado alrededor de 1986 desde Europa. Este molusco fue descubierto por primera vez en América del Norte en el año 1986 en las aguas del lago St. Clair, en el noreste de los Estados Unidos. En 1990 ya estaba presente en todo el sistema de los Grandes Lagos (EE.UU.), y al año siguiente sus poblaciones comenzaron a extenderse a los ríos Illinois y Hudson. A unos 10 años de su arribo al continente *Dreissena polymorpha* ya llegó al Golfo de México (Fig. 4), produciendo serios trastornos a la ecología y a las actividades humanas en los lugares invadidos. Estudios en el lago Huron mostraron claras amenazas a la calidad del agua y a la salud de los peces. Los moluscos cebra son muy ávidos consumidores de la principal fuente de alimento disponible en estos sistemas —el fitoplancton, las algas microscópicas que viven en suspensión en el agua. De esta manera, compiten activamente con muchas especies de peces que se alimentan

de fitoplancton, al menos en sus estadíos larvales.

El problema, sin embargo, no termina aquí. El fitoplancton crece a expensas de energía proveniente de la luz solar y de las sales nutritivas disueltas en el agua, pero no todas las especies fitoplanctónicas utilizan los mismos nutrientes de igual manera, y tampoco el valor nutritivo de las diferentes especies de algas es igual para los peces. El balance de diferentes sales existente en el lago antes del arribo de *Dreissena* condicionaba la existencia de un conjunto de algas determinado, adecuado para la alimentación de los peces locales. La alimentación y metabolismo del nuevo habitante, *Dreissena*, alteró ese balance de manera que los nutrientes producto de su actividad volcaron el equilibrio a favor de otro tipo de algas antes menos numerosas, las cianofitas o azul-verdosas, con baja digestibilidad y escaso valor nutritivo, y en algunos casos francamente tóxicas para la ictiofauna. Algunas de estas algas, como *Microcystis*, son también tóxicas para el hombre, y en grandes concentraciones interfieren seriamente con los procesos de potabilización del agua.

Los peces no son los únicos afectados por el invasor, y la competencia trófica es sólo uno de los tantos mecanismos involucrados en las nuevas interacciones biológicas. Algunos bivalvos nativos de América del Norte, como es el grupo de los uniónidos, también fueron impactados por el mejillón cebra, siendo éste el principal responsable de la drástica declinación de estos moluscos luego de su aparición. *Dreissena polymorpha* se adhiere preferentemente a los uniónidos, interfiriendo de esta forma con su crecimiento, respiración, filtración y reproducción.

Al igual que *Limnoperna* en la Argentina, uno de los impactos más serios de *Dreissena* es su capacidad de colonizar y obstruir todo tipo de cañerías industriales, incluyendo las de las centrales nucleares e hidroeléctricas, industrias de diverso tipo, plantas potabilizadoras, etc. También

constituye un serio problema para las embarcaciones, no solamente por obstruir sus tomas de agua, sino también por colonizar los cascos. Debido a estos problemas, su impacto económico en los EE.UU. se estimó en unos 5.000.000.000 (cinco mil millones) de dólares anuales, afectando diques y represas, plantas industriales (acerías, refinerías, de productos alimenticios, químicas, mineras) y el tratamiento de aguas.

El impacto económico del molusco cebra palidece frente a aquél derivado de otras invasiones, tanto acuáticas como terrestres. Algunos de estos casos son permanente objeto de estudio de nuevas medidas de control, como los de la mariposa gitaniana o "Gypsy moth" (*Lymantria dispar*), y de la enredadera conocida con el nombre vulgar de Kudzu (*Pueraria lobata*, Fig. 5).

Gypsy moth es una mariposa oriunda de Europa y Asia que fue introducida accidentalmente en Medford, Massachusetts (EE.UU.) en el año 1869 por el astrónomo francés Leopold Trouvelot; 20 años después esta especie se había extendido por varios e

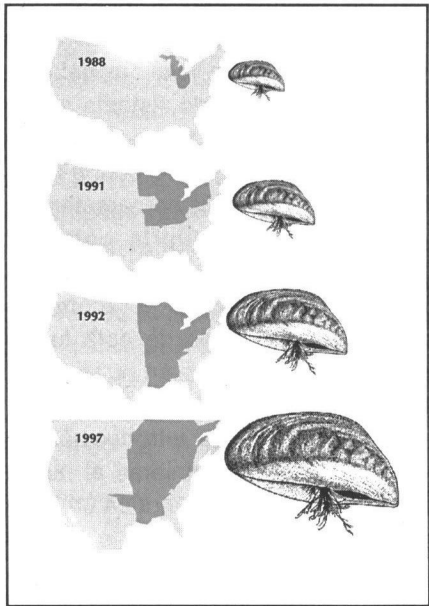


Fig. 4.— Ampliación del área geográfica cubierta por el molusco cebra, *Dreissena polymorpha*, en América del Norte, desde su aparición en ese continente hasta la actualidad.



Fig. 5.— La planta kudzu, *Pueraria lobata*.

tados norteamericanos, provocando la defoliación de millones de árboles.

Pueraria lobata apareció en los EE.UU. en 1876 en la Exposición Centenaria de Philadelphia, Pennsylvania; desde entonces se ha dispersado por todo el país tanto accidental como intencionalmente, con fines decorativos, comerciales, alimenticios y medicinales. A pesar de sus usos, es una maleza de crecimiento descontrolado que elimina prácticamente todas las demás plantas en su proceso de expansión territorial.

¿CÓMO LLEGAN?

Existe un sinnúmero de maneras en que una especie foránea puede ser transportada fuera de su área de influencia normal y colonizar otras regiones remotas. En realidad, muchas de estas vías son "naturales", en la medida en que siempre han existido y son un componente normal del delicado balance entre las especies que habitan el planeta. Más aún, estos mecanismos de dispersión son indispensables para la supervivencia de las especies ya que evitan que un cambio ambiental brusco y geográficamente restringido (como, por ejemplo, una inundación, o la erupción de un volcán, o una sequía) provoque la extinción de la especie. Los organismos que tienen movilidad propia adecuada (peces, aves, algunos mamíferos) pueden colonizar ambientes nuevos por desplazamiento propio, siempre y cuando no haya barreras infranqueables en el camino. Organismos con capacidad de desplazamiento propio restringida lo pueden hacer como parásitos o epibiontes de otros, con las corrientes de aire (esporas y semillas de muchos vegetales, huevos y quistes de resistencia de algunos animales) o de agua (prácticamente todos los organismos acuáticos). En consecuencia, el equilibrio entre las especies que habitan un sistema determinado no es inamovible, sino un proceso dinámico y sumamente delicado en el cual los actores involucrados van cambiando. A lo largo de la historia el hombre ha

contribuido a la dispersión de muchos animales y vegetales, principalmente en vinculación con las especies cultivables y domesticadas. Sin embargo, en las últimas décadas la movilidad de personas y mercaderías entre regiones ha sufrido un incremento exponencial, activando simultáneamente el transporte intencional o casual de los organismos. En efecto, el comercio exterior de los EE.UU., por ejemplo, creció más de 30 veces en los últimos 35 años (Fig. 3). Entre 1978 y 1993 las exportaciones argentinas aumentaron a más del doble, y las importaciones unas 4 veces.

Para los organismos acuáticos en particular, una de las vías de entrada más comunes es con el agua de lastre de los barcos, utilizada para asegurar la estabilidad de los buques durante el viaje. Los grandes barcos comerciales pueden llevar millones de litros de agua de lastre en tanques destinados específicamente para ese propósito. El mecanismo consiste en cargar agua en el puerto de origen y descargarla en el puerto de destino, permitiendo, de esta forma, que muchos organismos acuáticos sean trasladados y liberados en lugares nuevos a los que no podrían llegar de otra manera. La cantidad de agua foránea que reciben los puertos de esta manera es lógicamente proporcional a la actividad comercial de los mismos. Estimaciones recientes para los puertos de Norfolk y Baltimore (EE.UU.) indican que en los mismos se descargan anualmente entre 3 y 9 millones de toneladas de agua de lastre por año. Esa agua proviene de 48 puertos extranjeros diferentes. El agua de lastre es un mecanismo de transferencia muy poco selectivo; los buques pueden llevar a bordo cualquier tipo de especie, incluyendo organismos patógenos y parásitos (por ejemplo, virus y bacterias de peces), organismos responsables de floraciones tóxicas (mareas rojas), como algunos dinoflagelados, etc. Estudios puntuales muestran que, por ejemplo, más del 90% de los buques que entran a los puertos de la Bahía de Chesapeake (EE.UU.) llevan diferen-

tes organismos en el agua de lastre, incluyendo almejas y mejillones, algas, juveniles de peces, diversos animales zooplanctónicos, etc.

En la actualidad, las invasiones debidas a migraciones naturales son despreciables frente a aquéllas que se producen como resultado de las actividades humanas. El tráfico internacional de mercaderías es una de las vías de inmigración más comunes; los invasores llegan como pasajeros indeseados del producto mismo, de los embalajes o contenedores, como parásitos, infecciones o epibiontes ocasionales de productos alimenticios, plantas ornamentales, animales domésticos, etc. Al menos 36 de las 300 especies de malezas introducidas en los EE.UU. fueron traídas de manera intencional para ser cultivadas en condiciones controladas, y terminaron dispersándose y transformándose en plagas. Algunas especies se importan intencionalmente para programas de control biológico, para la caza y la pesca deportivas, y a la larga demuestran ser perjudiciales. En el caso de los peces, vertebrados terrestres y moluscos importados para control biológico, en aproximadamente la mitad de los casos el remedio buscado acaba siendo más perjudicial que el daño que se intentó mitigar.

IMPACTOS

Los impactos producidos por el ingreso de fauna foránea a un nuevo territorio son varios y, como ya se notara más arriba, generan problemas no sólo ecológicos, sino también económicos y culturales.

Desde que se ha comenzado a afianzar la percepción del peligro potencial que representan las invasiones biológicas, las introducciones accidentales son el mecanismo de contaminación más común. Sin embargo, en el pasado, y aún actualmente, existen innumerables registros de introducciones intencionales que, en contra de lo esperado, han producido muchos más daños que beneficios. Los castores, nutrias, visones,

liebres, conejos, jabalíes y ciervos introducidos en la Argentina en diferentes oportunidades con propósitos peleteros o para la caza deportiva han demostrado generar muchos más problemas que beneficios (ver más abajo). En muchos casos las especies introducidas con fines de control biológico sobre organismos indeseables, a veces otros invasores previos, ocasionan más daños aún. Para combatir al caracol africano gigante *Achatina fulica* en Hawaii se introdujo una especie de molusco predador de Florida, el caracol *Euglandina rosea*. Con el tiempo se observó que el predador no solamente no redujo las poblaciones del caracol africano, sino que eliminó totalmente una alta proporción de las especies de un molusco autóctono - *Achatinella*.

En muchos casos la introducción de fauna foránea ha producido no solamente la declinación, y aún la extinción total, de las poblaciones autóctonas, sino también profundas alteraciones en ecosistemas enteros. Dado que las interacciones entre las plantas y animales en un ecosistema en equilibrio son múltiples, intrincadas y delicadas, la alteración o eliminación de uno de los eslabones produce un efecto cascada que termina arrastrando a muchos organismos ecológicamente ligados entre sí. Frecuentemente este tipo de efectos involucran a animales de cuya actividad depende la polinización (y, por ende, la reproducción) de las plantas. El impacto sobre el o los polinizadores hace mermar las densidades de las plantas; esto a su vez afecta la supervivencia de los animales que se alimentan de aquéllas, así como de los predadores y parásitos de los últimos.

Existen numerosos ejemplos, tanto en ambientes terrestres como en los dulceacuícolas y marinos, de invasores que ya sea por competición por alimento y espacio, o por predación directa, diezman las poblaciones locales. La estrella de mar, *Asterias amurensis*, oriunda del Pacífico norte, se introdujo en Tasmania (Australia) en 1986 y desde entonces ha causado serios daños a la industria

de la acuicultura. Es un predador muy voraz y se reproduce y crece tan rápidamente que es prácticamente imposible erradicarla.

En muchos casos las invasiones implican serios peligros a la salud humana. El 40% de los buques que entran en puertos australianos contienen quistes de dinoflagelados en sus tanques de lastre. Los dinoflagelados son algas microscópicas algunas de cuyas especies son responsables de mareas rojas de altísima toxicidad. Uno de cada veinte buques examinados en el caso de Australia contenía formas viables de dinoflagelados responsables de mareas rojas tóxicas. Dependiendo de la especie implicada, algunas mareas rojas son inocuas, pero otras pueden tener efectos perjudiciales severos para muchos organismos, incluido el hombre. Las sustancias tóxicas producidas por los dinoflagelados son de tipos y efectos muy variados. Por ejemplo, *Gymnodinium breve*, responsable de las mareas rojas en las costas de Florida (EE.UU.), produce ictiotoxinas que causan altas mortalidades en los peces. Las almejas, mejillones y otros bivalvos que se alimentan de dinoflagelados concentran estas toxinas en sus tejidos, y si bien los moluscos mismos son inmunes al veneno, para los animales (incluido el hombre) que se alimentan de ellos son altamente peligrosas o fatales. Algunas toxinas, como las de *Dinophysis acuminata*, producen trastornos gastrointestinales; otras tienen efectos neurotóxicos y causan al hombre la denominada intoxicación paralizante por bivalvos (IPB), que puede llegar a ser letal. Existe un complejo de toxinas causantes de la IPB; una de ellas es la saxitoxina, una neurotoxina cincuenta veces más potente que el curare. Uno de los primeros registros de su incidencia en aguas argentinas data de 1981, cuando dos tripulantes del pesquero "Constanza" fallecieron a las pocas horas de haber ingerido mejillones que se habían alimentado de dinoflagelados productores de esta neurotoxina.

El agua de lastre también puede transportar organismos patógenos,

incluyendo formas virulentas para el hombre directamente, como el causante del cólera, *Vibrio cholerae*. Una variedad de cólera proveniente de América Latina fue detectada en los tanques de agua de lastre en el Puerto de Mobile, Alabama (EE.UU.) en noviembre de 1991. A comienzos de ese mismo año una cepa de cólera había sido encontrada en muestras de ostras y peces en la Bahía de Mobile, motivo por el cual autoridades de Salud Pública aconsejaron a la población evitar la manipulación y el consumo de mariscos, cerrando temporariamente la producción de los bancos comerciales de ostras.

Como puede apreciarse, los efectos negativos de la fauna invasora no están restringidos al impacto biológico y/o ecológico, sino que tienen también profundos efectos económicos. Los gastos relacionados con el control del crecimiento de moluscos (la almeja asiática *Corbicula fluminea*, el mejillón azul *Mytilus edulis*, la ostra americana *Crassostrea virginica*, el mejillón cebra *Dreissena polymorpha*, *Limnoperna fortunei*, y muchos otros) se miden en centenares de millones de dólares anualmente. Este impacto económico no está restringido a la actividad industrial. La Bahía de Chesapeake (Maryland, EE.UU.) ofrece un vívido ejemplo de impacto económico puntualmente pero socialmente significativo. Durante 1992, numerosas reservas con interés en el turismo de pesca deportiva ubicadas alrededor de la bahía fueron cerradas de manera compulsiva en respuesta a la amenaza de la invasión del mejillón cebra. Como consecuencia de la veda, decenas de negocios dedicados a la venta de artículos de pesca se vieron forzados a cerrar debido a la caída masiva de sus ventas.

En los EE.UU., se estima que los daños documentados producidos por solamente 79 especies invasoras (entre las que se encuentran muchas de éstas) entre 1906 y 1991 ascienden a 97.000 millones de dólares.

En líneas generales, los impactos son tanto más notorios cuanto más aislada geográficamente es el área

afectada. Las islas, por ejemplo, son mucho más vulnerables a las invasiones biológicas que los continentes. Ello se debe a que en su historia ecológica las islas han evolucionado de manera independiente durante períodos de tiempo prolongados, y esencialmente sus ecosistemas están menos "acostumbrados a recibir visitas". No sorprende, entonces, que Nueva Zelanda cuente con reglamentaciones y protocolos especialmente severos para el control de estas inmigraciones biológicas, o que Hawaii sea el estado norteamericano más afectado por plagas importadas. El 43% de todas las especies de plantas presentes actualmente en Nueva Zelanda son importadas; y de sus 36 especies de mamíferos terrestres sólo 2 son nativas. A pesar de la legislación severa y de las múltiples medidas de control, nuevas invasiones se registran a diario. Sin embargo, también se logran erradicar algunas. Por ejemplo, la rata de Polinesia, una plaga sumamente dañina de Nueva Zelanda, ha podido ser eliminada de las islas menores mediante el sembrado de cebo con tóxicos anti-coagulantes desde aviones.

LA ARGENTINA INVADIDA

A pesar de que la investigación en la Argentina sobre este tema es muy escasa, los numerosos casos documentados demuestran que no somos inmunes al problema. En realidad, una buena parte de la flora y fauna que vemos en los campos, bosques y aguas de nuestro país está representada por especies exóticas que fueron introducidas circunstancial o intencionalmente por el hombre (Tabla 1). Aún en las reservas naturales la proporción de inmigrantes es alta. Por ejemplo, en el Parque Nacional Nahuel Huapi, de las 46 especies de animales de porte que lo habitan, 13 son introducidas. Lo mismo ocurre con las plantas, donde llega a 146 el número de especies exóticas.

Muchos de estos invasores nos son tan familiares que no los reconocemos como tales; sin embargo su dispersión frecuentemente ha despla-

zado a otros habitantes, muchos de los cuales ni siquiera están adecuadamente registrados en nuestra memoria. La rosa mosqueta, por ejemplo, ingresó al país a comienzos de siglo con la inmigración europea, adaptándose rápidamente hasta relegar a muchas otras especies locales. Otro ejemplo destacable son los pinos. Debido a su adaptabilidad, resistencia y crecimiento rápido, varias especies de pinos son utilizadas regularmente para reemplazar a la flo-

ra autóctona diezmada por la explotación o destruida por los incendios. Las hojas aciculadas de estos árboles, de descomposición lenta, se acumulan masivamente en el suelo y, debido a su composición, modifican sensiblemente las propiedades químicas del mismo, impidiendo el crecimiento de otras plantas. Además, sus raíces profundas son especialmente eficientes en la absorción de agua subterránea, llegando a secar las napas más superficiales que utilizan

Tabla 1. Algunos ejemplos salientes de especies importadas en la Argentina y sus lugares de origen

Especie	Origen
Plantas	
Alamo plateado	Europa
Cardo	Asia
Eucaliptus	Australia
Lengua de vaca	Europa
Ligustro	Asia
Madreselva	Asia
Ortiga	Europa
Paraíso	Asia
Pino insigne	Norteamérica
Rosa mosqueta	Europa
Sorgo de Alepo	Mediterráneo
Trébol blanco	Eurasia
Zarzamora	Europa
Animales	
Almeja de agua dulce (<i>Corbicula fluminea</i>)	Asia? Norteamérica?
Carpa	Asia
Castor	Norteamérica
Ciervo axis	Asia
Ciervo colorado	Eurasia
Ciervo dama	Asia
Codorniz	Norteamérica
Faisán	Asia
Gambusia	Norteamérica
Jabalí	Eurasia
Liebre	Europa
Mejillín de agua dulce (<i>Limnoperna fortunei</i>)	Asia
Paloma	Erurasia, Africa
Ratas y ratones	Norteamérica, Eurasia
Reno	Eurasia
Truchas y salmones (4 especies)	Europa, Norteamérica
Visón	Norteamérica
Antílope negro	Asia
Corrión	Europa

muchas de las otras especies acompañantes. Estos factores contribuyen a la declinación de la flora autóctona, deprimiendo la diversidad vegetal natural del bosque y, en consecuencia, también la de la fauna que utiliza esas otras especies como fuente de alimento o refugio.

El sauce es otra de las especies introducidas por el hombre. Entró con los Salecianos a Viedma y San Antonio Oeste y se dispersó hacia Chubut y el Río Limay, no solamente modificando el hábitat costero sino también abriendo paso a otras invasiones.

El Sorgo de Alepo es un caso especial en la historia de las invasiones. Esta gramínea, que proviene del Mar Mediterráneo (sudeste de Europa y Asia Menor), fue introducida intencionalmente en la Argentina y Uruguay como forrajera, pero luego se difundió en forma descontrolada cubriendo gran parte del país. Como maleza de los más diversos cultivos y campos de pastoreo ha alcanzado tal importancia que en 1930 se la declaró plaga de la agricultura nacional, prohibiéndose su cultivo en amplias áreas del país. A pesar de sus virtudes como forrajera, el Sorgo de Alepo posee un glucósido cianogénico que puede ser fatal para los animales en ciertos períodos de su desarrollo. Las pérdidas anuales que ocasiona esta planta a la ganadería se estiman en cerca de 500 millones de pesos.

Otras especies de plantas introducidas en la Argentina son el paraíso (oriundo de Asia), que en el Parque Nacional El Palmar está desplazando a las palmeras; el ligustro o ligustrina y la madreSelva, que también llegaron de Asia y son los peores enemigos de las selvas en galería.

La fauna introducida ha causado tantos estragos como la flora. En 1948, por iniciativa del Ministerio de Marina se introdujo en Tierra del Fuego el castor (*Castor canadensis*). Este animalito tan simpático tiene el hábito de construir represas en los cuerpos de agua; de esta manera, además de talar árboles para sus obras, genera grandes superficies

permanentemente anegadas, donde no solamente desaparece toda la fauna terrestre preexistente, sino que muere la vegetación, incluyendo los árboles.

La liebre común o europea (*Lepus capensis*), que proviene de Europa, Asia y sur de África, fue introducida en la Argentina en el año 1888 y rápidamente se extendió por prácticamente todo el país. Debido a su alta tasa de reproducción, fácil adaptación al ambiente y gran voracidad, ha sido declarada plaga nacional, estando permitida su caza deportiva y comercial.

Las truchas fueron introducidas (junto a otro grupo de salmónidos) por el hombre alrededor del año 1910 desde EE.UU., Inglaterra y Alemania. Si bien estos peces representan una gran atracción para los aficionados a la pesca deportiva, para la fauna local son una amenaza continua, tanto por la competencia alimenticia como por predación de las truchas sobre algunas especies autóctonas. La carpa (*Cyprinus carpus*), cuyo país de origen es China, constituye otro ejemplo vívido de introducción intencional poco feliz. Fue sembrada en varios cuerpos de agua dulce de la República Argentina con fines deportivos, sin análisis previo de impacto potencial alguno. A los pocos años su presencia demostró ser perjudicial no sólo porque devora la vegetación acuática, sino también porque se come los huevos de bagres, pejerreyes y bogas.

Para favorecer el turismo, y sobre todo la caza deportiva, en 1906 se trajeron a una estancia en La Pampa varios ciervos colorados provenientes de Hungría y Austria. Al poco tiempo los animales ya habían ganado la libertad, se multiplicaban sin control, y en la actualidad habitan desde Tucumán y Entre Ríos hasta Tierra del Fuego. Su pastoreo es altamente perjudicial para el ganado, y en la provincia de Chubut ya han desplazado a dos ciervos nativos: el huemul y el pudú.

Los eventos invasivos no son historia pasada; organismos nuevos aparecen en nuestro territorio constantemente, aunque la detección y segui-

miento de estos fenómenos sean sólo ocasionales. Los datos provenientes de otros países con medidas de monitoreo y control más desarrolladas dan una idea de la gravedad de este proceso. El estuario de San Francisco, en los EE.UU., es reconocido como uno de los ecosistemas acuáticos más invadido por especies exóticas en América del Norte. De las 212 especies introducidas hasta el presente el 69% son invertebrados, el 15% son peces y otros vertebrados, el 12% son plantas vasculares, y un 4% microorganismos inferiores como los protistas. Entre 1850-1970 la bahía de San Francisco y el delta adyacente han sufrido en promedio una invasión cada 36 semanas; en 1970, sin embargo, el ritmo de ingresos aumentó a una especie nueva cada 24 semanas.

Algunos invasores no logran establecerse y desaparecen al poco tiempo. Otros pueden pasar desapercibidos por su escaso impacto. Sin embargo, de tanto en tanto alguno se afianza rápidamente y crece de manera desmedida. Las aguas dulces del sistema de los ríos Paraná-Uruguay ofrecen ejemplos recientes de invasiones altamente exitosas, algunos de cuyos efectos ya se pueden medir en términos económicos nada despreciables.

Antes del mejillón *Limnoperna fortunei* (ver más arriba), en la década del '70 desembarcó en nuestras aguas la almeja asiática *Corbicula fluminea* (Fig. 6). En el sudeste asiático este molusco es muy común, hasta se cultiva en los campos de arroz para consumo humano. Su presencia local data de tiempos inmemoriales, motivo por el cual no solamente coexiste de manera armónica y equilibrada con las demás especies acuáticas, sino que también lo hace de manera integrada con el hombre. Sus efectos potencialmente negativos en esa área constituyen una situación familiar que difícilmente crezca descontroladamente. Por otro lado, si bien su impacto sobre nuestras aguas jamás fue analizado en detalle, sin duda es importante. Las densidades de *Corbicula* en el delta del río Paraná llegan a valores altísimos, pu-



Fig. 6.— *Corbicula fluminea*, la almeja asiática que llegó a la Argentina alrededor de 1970.

diendo tapizar secciones del fondo con hasta más de 5.000 animales por m². Cada molusco filtra hasta 20 litros de agua por día a través de sus branquias reteniendo y consumiendo la materia orgánica particulada en suspensión. De esta manera, la presencia masiva de *Corbicula* en los sedimentos acelera muy significativamente los procesos de consumo y descomposición del material biológico, pero los efectos —seguramente muy significativos— de este cambio sobre el ecosistema no han sido analizados.

Muchos años antes de aparecer en la Argentina, a principios de siglo *Corbicula* invadió los EE.UU.; los estudios de impacto realizados en ese país pueden servir como guía para inferir algunos de sus efectos en las aguas locales. En los EE.UU. *Corbicula* provoca grandes pérdidas debido a la periódica acumulación de sus valvas en canales y sistemas de irrigación, al taponamiento de filtros y tuberías de sistemas de refrigeración

de plantas industriales y energéticas, incluidas las nucleares, a la interferencia en el aprovechamiento de depósitos naturales de arena y grava para la construcción. Además, compite con la fauna autóctona desplazándola.

VAN Y VIENEN

Las migraciones de organismos que se convierten en plaga en el nuevo hogar no tienen signo definido, y así como la Argentina padece las invasiones de especies norteamericanas, europeas, asiáticas y africanas, muchas de estas regiones remotas también sufren los efectos de los inmigrantes de Sudamérica. Un caso reciente es el del caracol acuático *Pomacea canaliculata* (= *Ampullaria canaliculata*) (Fig. 7), muy común en lagunas y charcos de nuestro país. Entre 1979 y 1981 esta especie fue introducida con fines alimentarios en Taiwan. Un par de años más tarde ya había llegado a las Filipinas, y luego

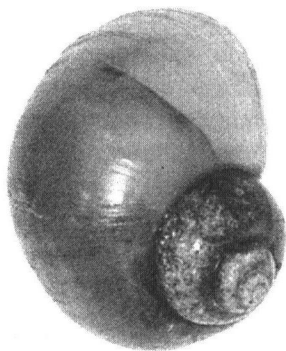
se expandió a Tailandia y la mayoría de las islas aledañas, incluyendo a Japón. En todos estos lugares es una plaga muy importante de los arrozales, llegando a afectar más del 90% de la cosecha (se alimenta de los brotes juveniles de la planta) cuando sus densidades superan los 8 individuos por metro cuadrado (Fig. 7). El éxito de *Pomacea* en su dispersión y asentamiento en Asia constituye un ejemplo típico de las virtudes que permiten a una especie colonizar un ambiente nuevo. Este caracol tiene un gran potencial reproductivo, un ciclo de vida extendido (hasta 3 años), pocos enemigos naturales, una dieta amplia, poco selectiva y diferentes modalidades de alimentación, la capacidad de respirar tanto el oxígeno disuelto en el agua, como el atmosférico, la habilidad de desplazarse en el agua y sobre tierra, puede sobrevivir sequías y períodos fríos encerrándose herméticamente en su concha y enterrado en el barro.

LAS MEDIDAS DE CONTROL

Una de las primeras medidas de lucha contra las invasiones biológicas consiste en los controles aduaneros y sanitarios en los puertos de entrada. Ello incluye no solamente personal especializado y protocolos cuidadosamente elaborados, sino la disponibilidad de información detallada y confiable acerca de las especies de mayor riesgo, sus áreas de dispersión y vías de transporte más comunes, sus características biológicas y ecológicas, etc. El control en los puntos de entrada, sin embargo, jamás podrá ser hermético, y en algunos casos resulta más económico y práctico detectar y exterminar al invasor una vez que ha entrado, que extremar las medidas de prevención. En estos casos, es esencial disponer de programas de detección inmediata y de respuesta rápida con el fin de erradicar, o al menos contener, el problema antes de que su magnitud exceda la capacidad operativa. Las medidas de combate más difundidas, efectivas y económicas para una gran



puesta de huevos



concha de un animal
adulto

arrozal



sano



afectado por una densa
población de *Pomacea*

Fig. 7.— *Pomacea canaliculata* (animal adulto y puesta de huevos sobre una planta acuática). A la derecha se ilustran los efectos del pastoreo de este molusco sobre un arrozal (de Schnorbach, J.J., 1995, *Pflanzenschutz-Nachrichten Bayer*, 48(2): 313-346).

cantidad de especies perjudiciales son los productos químicos. Sin embargo, los pesticidas tienen innumerables inconvenientes, y frecuentemente se pueden lograr resultados menos onerosos ambientalmente utilizando medidas menos directas, como el manejo del medio para tornarlo más desfavorable para el invasor, el apoyo a las especies que compiten con él, etc.

En la mayoría de los casos las medidas de control deben ser específicas para cada área, y si bien la información previa proveniente de otros países puede ser muy útil, las extrapolaciones directas raramente son válidas. Es muy probable que el impacto de *Limnoperna* en la cuenca del Plata tenga claros paralelos con el de *Dreissena* en los EE.UU., pero la extrapolación indiscriminada

de la experiencia estadounidense a nuestro país puede generar conclusiones erróneas. Por ejemplo, varios de los moluscicidas que se utilizan regularmente en el norte para controlar el crecimiento de *Dreissena* en las instalaciones industriales, han demostrado ser totalmente ineficaces para *Limnoperna*. Aún una misma especie invasora puede comportarse de manera muy diferente en los diferentes ecosistemas que avasalla. La almeja asiática *Corbicula fluminea*, por ejemplo, presente en los EE.UU. desde principios de siglo y en la Argentina desde los años '70, tiene dos períodos de reproducción por año en el hemisferio norte, pero uno sólo en el Delta del Paraná. Estas diferencias biológicas pueden dictar la necesidad de aplicar estrategias de control muy diferentes.

Muchos países cuentan con costosos programas de monitoreo y control de las especies invasoras. En Canadá, por ejemplo, el "Canadian Invasive Plants Project" es un componente esencial del "Canadian Biodiversity Mapping Program (BIOMAP)". En Estados Unidos existen varios de estos organismos (el "Invasive Alien Plant Cooperative Project" de Virginia, el "National Exotic Species Program", de California, etc.). La importancia del tema es tal que hay organizaciones gubernamentales y privadas dedicadas específicamente al control de una sola especie. En los EE.UU., por ejemplo, el "Hawke's Action Committee" trabaja exclusivamente sobre la evaluación y análisis de medios de control de la maleza *Hieracium pratense*. En Nueva Zelanda, en el año 1993 se creó "The Invasive Species Specialist Group" (ISSG) cuya misión es la reducción de las amenazas impuestas por las especies invasoras sobre los ecosistemas naturales y sobre las especies nativas presentes en ellos. La constante introducción de fauna foránea a la Bahía de Chesapeake (EE.UU.) y el agua de lastre (ver antes), llevó a la creación en el año 1992 de "Chesapeake Bay Commission". Esta es una comisión legislativa que representa a los estados de Virginia, Maryland, Pennsylvania y al Distrito de Columbia, y su objetivo es el asesoramiento orientado al riesgo asociado con la introducción de especies invasoras.

En la Argentina existe un control oficial a cargo de la Dirección de Fauna que regula la importación y exportación de especies alóctonas y tiene jurisdicción federal para realizar los controles de tráfico ilegal. Además, en el aspecto legislativo, con respecto a la fauna existe la ley 22421/81 que prohíbe la liberación de animales silvestres en cautiverio, cualquiera sea la especie o los fines perseguidos, sin la previa conformidad de la autoridad de aplicación, nacional o provincial que corresponda, debido a que su presencia puede ocasionar graves trastornos a la naturaleza. La misma ley también determina que la auto-

dad nacional de aplicación podrá prohibir la importación, introducción y radicación de ejemplares vivos, semen, embriones, huevos para incubar y larvas de cualquier especie que pueda alterar el equilibrio ecológico, afectar actividades económicas o perturbar el cumplimiento de los fines de la ley. Para la acuicultura, la introducción de organismos vivos está reglamentada por las resoluciones 902/94 de la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca.

La legislación es un componente imprescindible pero, obviamente, insuficiente para controlar el problema de las especies invasoras. La implementación de las disposiciones legales debe ser llevada a cabo por organismos dotados de adecuada capacidad operativa y con personal entrenado. En este sentido es poco lo que se ha hecho en la Argentina hasta ahora.

NO TODO ES NEGATIVO

Obviamente, no todos los organismos importados son perjudiciales. La mayoría de las plantas cultivadas, como el trigo y la soja, así como el ganado, las abejas, muchas especies de árboles, incluyendo el eucalipto, fueron traídos a América por el hombre. En rigor de verdad, desde el punto de vista de los intereses humanos, incluida la protección y conservación de la Naturaleza, todas las especies animales y vegetales tienen efectos tanto positivos como negativos, y el balance frecuentemente depende del lugar y el punto de vista que se utilice en la evaluación. Aún especies como *Corbicula fluminea* reportan algunos beneficios; por ejemplo, son potencialmente útiles como agentes de purificación del agua, son consumidos por algunas especies de peces con cierto valor comercial, como los armados, pueden ser de gran utilidad en programas de monitoreo ambiental y, finalmente, aún en la Argentina son utilizadas para el consumo humano (*Corbicula* se comercializa en algunos mercados de comestibles que

se especializan en atender a las comunidades orientales).

EPÍLOGO

Por qué las invasiones biológicas no reciben la atención que merecen en comparación con, por ejemplo, la lluvia ácida, o el efecto invernadero, o el agujero de ozono? Es que nos son demasiado familiares? O son escasas y poco impactantes las historias de desastres relacionadas con las invasiones biológicas? Por qué las invasiones biológicas no se tratan en la misma categoría de componentes del cambio global, cuando en realidad probablemente sean de mucho mayor importancia que otras facetas de este fenómeno?

Probablemente ello se deba en parte a que la mayoría de la población simplemente no sabe si una especie dada es nativa o exótica y, en general, no es consciente del problema. Dependiendo de los conocimientos que maneja el observador, el ligustro o la rosa mosqueta pueden ser vistos como una hermosa adición verde al paisaje, o como una amenaza a la diversidad florística y a la supervivencia de numerosas otras especies. La cuestión de la "culpa" también puede tener importancia ya que, a diferencia de la lluvia ácida o el agujero de ozono, no existe aquí un culpable definido del problema. La responsabilidad, por ende, se diluye, y se vuelve más difícil enfocar al "enemigo". Además, como se señalara más arriba, la apreciación de qué es natural y bello en un paisaje y qué no lo es, es relativa y frecuentemente sesgada; sin conocer sus efectos sobre los ecosistemas que habitan, la mayoría de las personas coincidiría en que la zarzamora, el ciervo colorado y el castor son organismos bellos y simpáticos. Su presencia se percibe como un agregado decorativo, agradable y "natural", y no como invasores que rompen un equilibrio preexistente y son causantes de la pauperización biológica. La educación pública y las medidas de prevención y control que el Estado puede

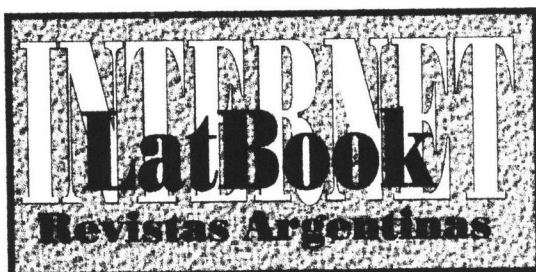
implementar juegan aquí un rol decisivo. Estas medidas no se restringen a programas centralizados ejecutados por organismos gubernamentales, sino que deben abarcar un amplio rango de acciones tendientes a involucrar a la sociedad en la lucha con los flagelos. La diseminación amplia de información, la coordinación de iniciativas regionales, el incentivo (a través de créditos, exenciones impositivas, etc.) a los esfuerzos privados de erradicación de especies invasoras, la priorización y financiamiento de programas de investigación de impacto y control, el estímulo a la intervención activa de organizaciones a nivel regional y vecinal, etc. son algunos de los engranajes que deben ser puestos en marcha rápidamente frente a este tipo de problemas. En muchos casos la velocidad de reacción es crucial, ya que, al igual que en una enfermedad, cuanto antes se detecte el mal mayores serán las probabilidades de erradicarlo.

En cuanto a las introducciones intencionales, es claro que las mismas se seguirán practicando en el futuro, probablemente a un ritmo igual o superior a aquél registrado hasta la actualidad. También es claro que cualquier decisión de introducir una especie nueva está asociada con un riesgo potencial. Ello es inevitable, pero este riesgo potencial puede ser minimizado, o al menos anticipado, si se dispone de un adecuado estudio previo de impacto, así como de una respuesta satisfactoria al nivel de riesgo involucrado y al balance de costo-beneficio ante el peor de los resultados posibles.

LECTURAS SUGERIDAS

- Anderson D.M. 1989. Toxic algal blooms and red tides: A global perspective. Pp. 11-16 en "Red tides: Biology, Environmental Science and Toxicology" (T. Okaichi, D.M. Anderson, T. Nemoto, eds.), Elsevier, New York.
- Andrews J.D. 1980. A review of introduction of exotic oysters and biological planning for new importations. Marine Fisheries Review 42: 1-11.

- Carlton J.T. 1985. Transoceanic and interoceanic dispersal of coastal marine organisms: the biology of ballast water. *Oceanography and Marine Biology Annual Review*, 23: 313-371.
- Carlton J.T. 1989. Man's role in changing the face of the ocean: biological invasions and implications for conservation of near-shore environments. *Conversations Biology*, 3: 265-273.
- Carlton J.T. 1993. A steady stream of invading marine organisms creates ecological roulette in New England waters. *Estuarine Research Federation Newsletter* 19: 11.
- Carlton J.T. y Geller J.B. 1993. Ecological roulette: the global transport and invasion of nonindigenous marine organisms. *Science*, 261: 78-82.
- DeVos, A., Manville R.H. and Van Gelder R.G. 1956. Introduced mammals and their influence on native biota. *Zoologica*, 41: 163-194.
- Drake J.A. 1989. Biological invasions: A global perspective. Wiley, Chichester.
- Elton C.S. 1958. The ecology of invasions by animals and plants. Methuen and ComDans, London.
- Hallegraeff G.M. and Bolch C.J. 1992. Transport of diatom and dinoflagellate resting spores in ships' ballast water: implications for plankton biogeography and aquaculture. *Journal of Plankton Research*, 14: 1067-1084.
- Hallegraeff G.M. and Bolch C.J. 1991. Transport of toxic dinoflagellate cysts via ships' ballast water. *Marine Pollution Bulletin* 22: 27-30.
- Mills E.L., Scheuerell M.D., Carlton J.T. and Strayer D. 1994. Biological invasions in the Hudson river: an inventory and historical analysis. Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, New York.
- Mooney H.A. and Drake J.A. 1986. Ecology of biological invasions of North America and Hawaii. Springer-Verlag New York.
- Navas J.R. 1987. Los vertebrados exóticos introducidos en la Argentina. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia" Zoología*, 14: 7-38.
- Office of Technology Assessment (U.S. Congress). 1993. Harmful non-indigenous species in the United States. OTA Publication OTA-F-565, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- U.S. Department of Transportation. 1993. Shipping study, the role of shipping the introduction of nonindigenous aquatic organisms to our coastal waters of the United States (other than the Great Lakes) and an analysis of control options. Draft Document, 1993.



CIENCIA E INVESTIGACION
incluye los sumarios de sus ediciones en
la base de datos Latbook (libros y revistas)

Disponible en INTERNET
 en la siguiente dirección:

<http://www.latbook.com.ar>

BIOSENSORES

Por Eduardo Cortón*

En las últimas dos décadas, se ha experimentado un desarrollo explosivo de nuevas tecnologías y métodos que amplían en gran medida las posibilidades analíticas disponibles. Dentro de este contexto, los BIOSENSORES prometen poner a nuestra disposición nuevos y más sensibles métodos en las más variadas áreas de la Tecnología y el Conocimiento.

La necesidad de medir es, seguramente, tan antigua como el hombre. Desde el comienzo de la agricultura resultó imprescindible conocer las épocas propicias de siembra. Asimismo, para poder establecer relaciones comerciales con otros pueblos o entre distintos grupos familiares se originaron maneras de medir el valor de las mercaderías y bienes. En consecuencia, en la historia de otras civilizaciones y de la nuestra propia, han surgido diferentes unidades o patrones fundamentales de medición (peso, volumen, longitud y tiempo) y a partir de ellas unidades secundarias o derivadas (aceleración, velocidad, etc.).

El desarrollo de nuestra sociedad ha exigido que en las últimas décadas se desarrollen y perfeccionen una gran cantidad de nuevos instrumentos para realizar análisis en el área de la medicina, el ambiente y otras. Son características de estas técnicas analíticas el permitir detectar menores cantidades de una determinada sustancia, que sean específicas para una sola sustancia que se encuentra asociada o mezclada con otras que no son de nuestro interés (**elevada especificidad**), y el último requisito importante es que permitan obtener la información acerca de las características de la muestra en forma prácticamente instantánea (**on-line**).

Un ejemplo de instrumento de este tipo son los biosensores para determinar la concentración de azúcar (glucosa) en la sangre de las personas que padecen diabetes. Estos permiten conocer la cantidad de glucosa en muestras de sangre sin necesidad de separar antes sus compo-

nentes (especificidad) y el médico puede obtener el resultado en menos de un minuto (on-line). Para utilizar los métodos habituales en análisis clínicos hay que separar los elementos celulares de la sangre (glóbulos blancos, rojos y plaquetas) y el tiempo necesario es mucho mayor.

La cantidad de artículos científicos que se publican por año en una determinada especialidad o en un determinado tema está directamente relacionada con el interés que despierta ese tema, tanto en la comunidad científica como en las empresas que realizan esfuerzos más bien con ánimo comercial. El número de publicaciones localizables en bancos de datos mediante la palabra clave **Biosensor** ha aumentado en forma constante en las últimas dos décadas, llegando en la actualidad a superar los varios cientos por año, lo que refleja las elevadas expectativas (y dinero) colocadas en este tema.

* Eduardo Cortón es Licenciado en Biología, orientación Zoología, egresado de la Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Actualmente se desempeña como Jefe de Trabajos Prácticos en la Cátedra de Instrumentación Biológica del Departamento de Química Biológica, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la U.B.A.

Pero, digamos, **¿Qué es un biosensor?** La Figura 1 nos ayuda a «verlo».

Esto es, todos los **Biosensores** se componen por algún tipo de material biológico, células vivas o parte de ellas (ver Tabla 1) asociados a un **transductor** que convierte (o traduce) la señal bioquímica producida en una señal eléctrica. La señal eléctrica debe ser proporcional a la concentración de la sustancia que se está midiendo y para la cual fue diseñado el sensor. Esta señal eléctrica debe ser amplificada convenientemente, ya que las señales producidas por los transductores son siempre muy bajas, y enviada a algún sistema de registro de datos, como por ejemplo un monitor de computadora, cuya función es presentar el dato en algún tipo de unidad de medición conveniente (concentración u otras).

Un concepto interesante y que vale la pena profundizar es el de **transductores**. Estos permiten transformar una señal no eléctrica en una eléctrica o viceversa. A pesar de que el término no es de uso corriente, todos nosotros lo utilizamos habitualmente. El teléfono ha probado ser un gran invento, y su funcionamiento se podría explicar de la siguiente manera: Al hablar sobre un micrófono, una señal no eléctrica (el movimiento vibratorio del aire producido por nues-

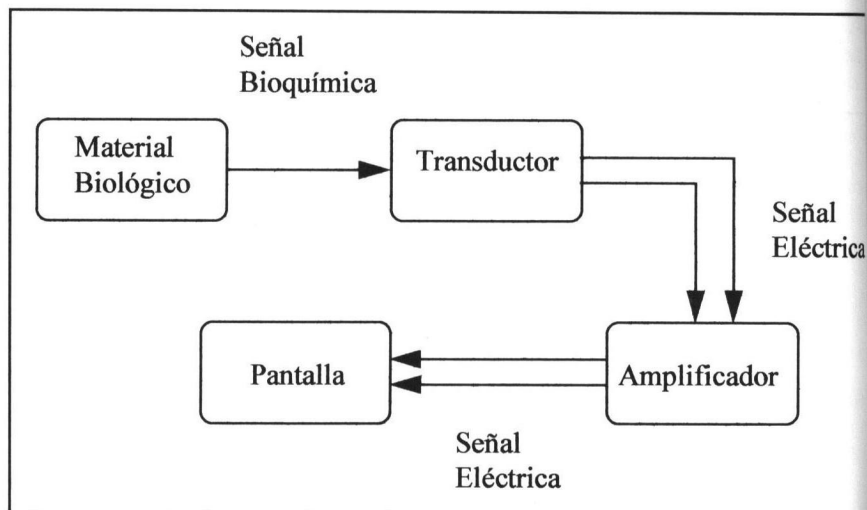


Figura 1. Esquema general de un biosensor, mostrando sus partes constituyentes

tros pulmones y cuerdas vocales) es transformado en una señal eléctrica. Esta luego se transmite por cables conductores hasta llegar a la central donde se la direcciona y se la despacha hacia el destino final, en donde la señal eléctrica es transformada nuevamente, por medio de un parlante, en sonido (nuevamente un fenómeno no eléctrico).

Como se puede observar en la Figura 2 el primero de estos se denomina transductor de entrada mientras que el segundo transductor de salida. La ventaja evidente de transformar fenómenos no eléctricos en eléctricos es, como surge del ejem-

plo anterior, que mientras transporta una señal sonora a grandes distancias es prácticamente imposible, la señal eléctrica puede ser transportada fácilmente y casi instantáneamente. Por otro lado, las señales eléctricas pueden ser digitalizadas, esto es convertidas en información numérica y de esta manera es posible almacenarlas y procesarlas, utilizando la cada vez más cotidianas computadoras personales (Diefenderfer, 1984).

Utilizando el ejemplo anterior, podemos establecer una analogía, resaltar que todos los transductores mencionados en la Tabla 1 realizan la función del micrófono del teléfono: son transductores de entrada y convierten una señal bioquímica en eléctrica, además, el micrófono por el cual alguien escucha nuestra voz es análogo al display o indicador, donde se convierte el fenómeno eléctrico en una señal no eléctrica perceptible por mis sentidos (en definitiva, un número) y el amplificador equivaldría a la central telefónica.

¿CÓMO SE CONSTRUYE UN BIOSENSOR?

La primera decisión que debe tomarse es cuál puede ser el material biológico más apropiado para construir un Biosensor, que pueda ser utilizado para analizar con la especificidad y en el rango de concentración

Tabla. 1. Ejemplos de las aplicaciones más estudiadas de los biosensores, el transductor asociado y la/s sustancia/s a analizar.

MATERIAL BIOLÓGICO	TRANSDUCTOR	ANÁLITO/S
E Lactato	Electrodo Redox	Lactato
N Deshidrogenasa		
Z		
I Glucosa Oxidasa	Electrodo de pH	Glucosa
M Ureasa	Conductimétrico	Urea
S	Fotomultiplicador o fotodiodo	Elementos Tóxicos
C Luminiscentes		
L		
U		
L Gases	Electrodo de pH, CO ₂ , NH ₃ , O ₂ , Termistores, etc.	Otras Sustancias
A		
S		



Figura 2. Transductores de entrada y de salida. El micrófono y el parlante de un teléfono son verdaderos transductores.

todas sus funciones vitales, generalmente bacterias u hongos (en realidad es posible utilizar cualquier tipo de célula, el problema es que las dificultades del cultivo de células, por ejemplo de mamíferos, son mucho mayores que las que presentan los organismos más simples); la gran ventaja de estos sensores es que la preparación de los mismos es mucho más sencilla y económica y el período de vida útil es muy extenso (Cass, 1990). Por otro lado, sólo es posible trabajando con células obtener sensores poco o no específicos, cuya utilidad estará relacionada con la capacidad para medir cualidades generales de la muestra, como por ejemplo la toxicidad del agua proveniente de un efluente industrial.

Por último, también es posible construir sensores mixtos combinando una o varias **enzimas** con **células enteras**, y, aunque es una posibilidad poco explorada hasta ahora, también es factible utilizar orgánulos subcelulares, como las mitocondrias, cloroplastos etc. Un resumen de las ventajas y desventajas de los diferentes tipos de materiales biológicos utilizables se resume en la Tabla 2.

nes deseado una determinada sustancia o una determinada muestra.

Los materiales más comúnmente usados son **enzimas** purificadas a partir de cultivos de hongos y bacterias; éstas tienen la ventaja de su elevada especificidad (las enzimas), especificidad que también tendrán los biosensores contruidos a partir de ellas. Las desventajas que poseen es que se precisa separarlas y purificarlas de un cultivo de estos organismos, formados por una única célula, que se cultivan en grandes recipientes (fermentadores), comúnmente de miles de litros. Este proceso es costoso en cuanto a tiempo y dinero; también su vida útil suele ser pequeña. Otra posibilidad, es utilizar una mezcla de distintas **enzimas**, otorgándole al sensor mayor especificidad. Una tercera posibilidad es utilizar **células enteras**, conservando

Tabla 2. Comparación entre los biosensores basados en enzimas y en células enteras. Los tres primeros ítems favorecen claramente a los bacterianos, mientras que los otros tres resaltan las características de los enzimáticos. Los biosensores que combinan ambos materiales biológicos tendrán características intermedias.

ITEM A COMPARAR	BIOSENSORES ENZIMATICOS	BIOSENSORES MICROBIANOS
Tolerancia a medios no óptimos (pH)	Baja	Elevada
Tiempo en el que son funcionales (duración)	Pequeño	Elevado (varias semanas)
Costo	Elevado	Más económicos
Tiempo de Respuesta	Pequeño (minutos)	Elevado (hasta 1 hora)
Tiempo entre una y otra medición	Pequeño	Elevado
Selectividad	Muy elevada	Escasa

Una vez elegido el componente biológico, el paso siguiente es fijarlo a un soporte que permita: a) Inmovilizar al transductor de entrada. b) Evitar que las enzimas y/o células contaminen la muestra (cayendo dentro de ella). c) Facultar el libre paso de las sustancias a analizar en la muestra. d) Permitir el paso de los productos de la reacción con el material biológico detectados por el transductor de entrada.

Los materiales utilizados para inmovilizar a las bacterias o enzimas básicamente pueden ser de dos tipos: membranas de un tamaño de poro adecuado, como membranas de diálisis, membranas de policarbonato, acetato de celulosa u otras membranas (muchas de éstas son utilizadas en los laboratorios como filtros), o bien el material biológico puede ser retenido en geles (de una consistencia similar a la gelatina) que producen una red tridimensional que impide la salida de moléculas grandes (como las enzimas) o de las células, separándolos de las moléculas pequeñas que atraviesan el polímero con facilidad. Los geles más utilizados para este propósito son los de poliácridamida, de agarosa o de alginato de calcio.

El próximo paso sería encontrar un transductor adecuado para detectar los cambios producidos al entrar en contacto las muestras a analizar con las células o enzimas. Estos cambios pueden ser debido a la desaparición de un sustrato, la aparición de un producto, o cualquier otro subproducto de la actividad de las enzimas o del metabolismo de las células. En la Figura 3 se pueden observar algunas reacciones bioquímicas utilizadas por algunos biosensores y detectadas por el correspondiente transductor.

Unos de los primeros transductores utilizados fueron electrodos potenciométricos (como los electrodos de pH o los electrodos sensores de dióxido de carbono), de uso general, a los cuales se ha adherido una enzima que al catalizar una reacción sobre su sustrato (presente en la

muestra) produce como producto o subproducto alguna sustancia detectable. Estas serían iones H^+ (protones, iones hidrógeno) en el primer caso y CO_2 en el segundo caso. Estas sustancias provocan en el electrodo un cambio de potencial (un cambio en el "voltaje") que, dentro de ciertos límites es proporcional a la con-

centración de la o las sustancias a medir. Asimismo, son muy utilizados los sensores de oxígeno asociados a reacciones que eliminan este gas del medio y sensores de temperatura, y que la actividad metabólica de los seres vivos produce un exceso de calor no utilizable que eleva la temperatura del área cercana al sensor.

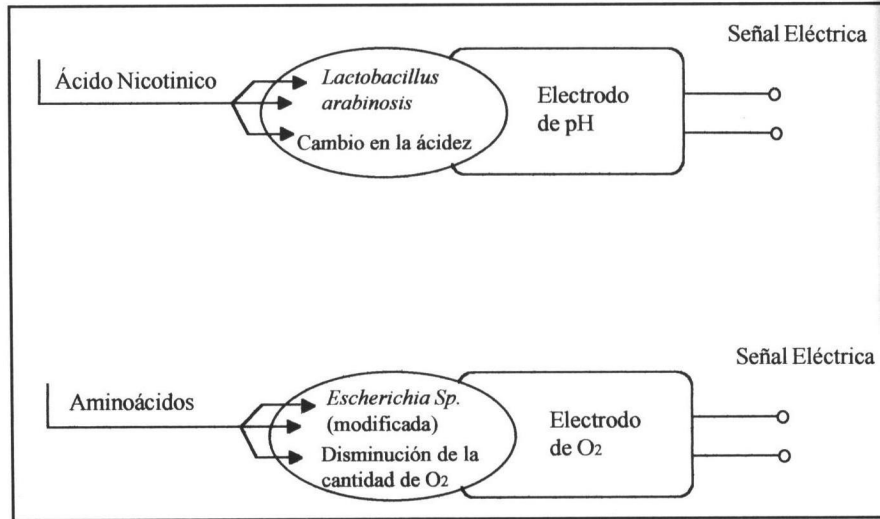


Figura 3a. Las células pueden ser utilizadas para analizar muestras problemáticas. Arriba, en el primer esquema, una bacteria, pariente de las que intervienen en la producción del yogurt y leches cultivadas. Abajo, una coliforme, bacterias muy abundantes en líquidos cloacales y pozos ciegos, es utilizada para medir aminoácidos; las modificaciones consisten en realizar, mediante técnicas de ingeniería genética u otras, modificaciones en la permeabilidad de las membranas celulares de estos organismos o bien bloquear algunos de los pasos metabólicos necesarios para la alimentación de estos organismos.

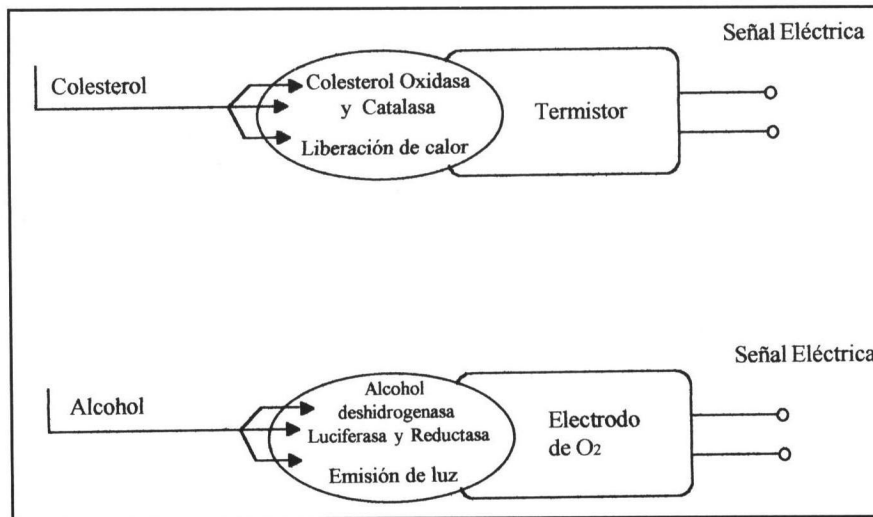


Figura 3b. Los catalizadores biológicos, también llamados enzimas, han sido usados con éxito en muchas aplicaciones. En los esquemas se aprecia en primer lugar la sustancia que se quiere analizar; dentro del óvalo se encuentran las enzimas utilizadas y el efecto que provocan cuando se encuentran con su sustrato (en el primer gráfico, el sustrato es el colesterol). Luego se ha esquematizado el transductor, el elemento que convierte, en estos casos, la temperatura o la luz en una señal eléctrica, que podrá ser inyectada a una computadora personal o algún otro instrumento de medición.

Es prometedora y ya tiene algunas aplicaciones prácticas (medición de glucosa) la utilización de bacterias que naturalmente emiten luz, o bien bacterias producto de la ingeniería genética de bacterias comunes y fáciles de cultivar como *Escherichia coli* bacteria que abunda en aguas contaminadas, y que se la utiliza para evaluar la potabilidad del agua) transformada con genes responsables de la luminiscencia.

Estos genes pueden ser obtenidos de bacterias luminiscentes o también de insectos (luciérnagas y escarabajos) que poseen la información genética necesaria para emitir luz a partir de una reacción bioquímica. Los biosensores basados en la emisión de luz se han mostrado muy atractivos, principalmente luego de los grandes avances realizados en el área de las fibras ópticas y en el de los detectores de luz, actualmente económicos, sensibles y confiables (Malmstad *et al.*, 1981)

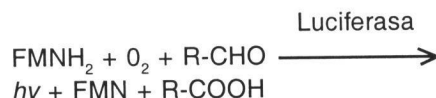
En la Figura 4 vemos un esquema, en el que la luz emitida por bacterias luminiscentes es transmitida por fibras ópticas hasta el detector, normalmente tubos fotomultiplicadores o fotodiodos (de uso habitual en instrumental analítico). Es posible utilizando este diseño estimar la toxicidad de una muestra de agua en tiempos relativamente cortos, más o menos independientemente de la naturaleza química del tóxico. Se observará que el resultado de la medición es relativo y surge de la comparación entre la intensidad de luz emitida por las bacterias "blanco" (o referencia) con la luz emitida por las bacterias sometidas a la muestra que posee la sustancia tóxica.

¿QUÉ SON LAS BACTERIAS LUMINISCENTES?

Desde hace más de un siglo, se han descrito varias especies de bac-

terias luminiscentes. Todas ellas son marinas (algunas muy abundantes en ese medio acuático), viven libres o asociadas a las superficies externas o en los contenidos estomacales de peces y otros organismos marinos. Algunas especies se han encontrado estableciendo relaciones simbióticas o de mutualismo (relaciones entre organismos de distintas especies en la cual ambos se benefician, siendo en el primer caso indispensable para la vida de los mismos) con algunos peces marinos que poseen órganos luminosos. Las bacterias producen luz, que les permite a estos peces, generalmente habitantes de las profundidades marinas, realizar diferentes funciones, como encontrar pareja, comunicarse o atrapar su alimento. En contrapartida proporcionan a las bacterias un hábitat adecuado para sobrevivir. La distribución geográfica de estas bacterias es mundial, encontrándose en todos los mares.

Predominan en profundidades entre 200 y 1000 metros, aunque también se hallan en zonas costeras y litorales. Pertenecen a los géneros *Xenorhabdus*, *Photobacterium*, y *Vibrio* (existen inclusive variedades o cepas de la bacteria productora del cólera, *Vibrio cholerae*, que emiten luz, aunque éstas generalmente no son patógenas) y su producción de luz responde a la siguiente ecuación:



La luciferasa es una enzima que permite que esta reacción ocurra rápida y eficientemente, y en la cual una gran parte de la energía liberada es emitida en forma de luz (un fotón = $h\nu$), cuya longitud de onda dependerá, entre otras cosas, del compuesto orgánico que está siendo oxidado, simbolizado como R-CHO. Este compuesto es un aldehído de cadena larga que se oxida y se forma un ácido también de cadena larga, R-COOH. En muchas reacciones celulares son necesarias moléculas que cumplen la función de transportar

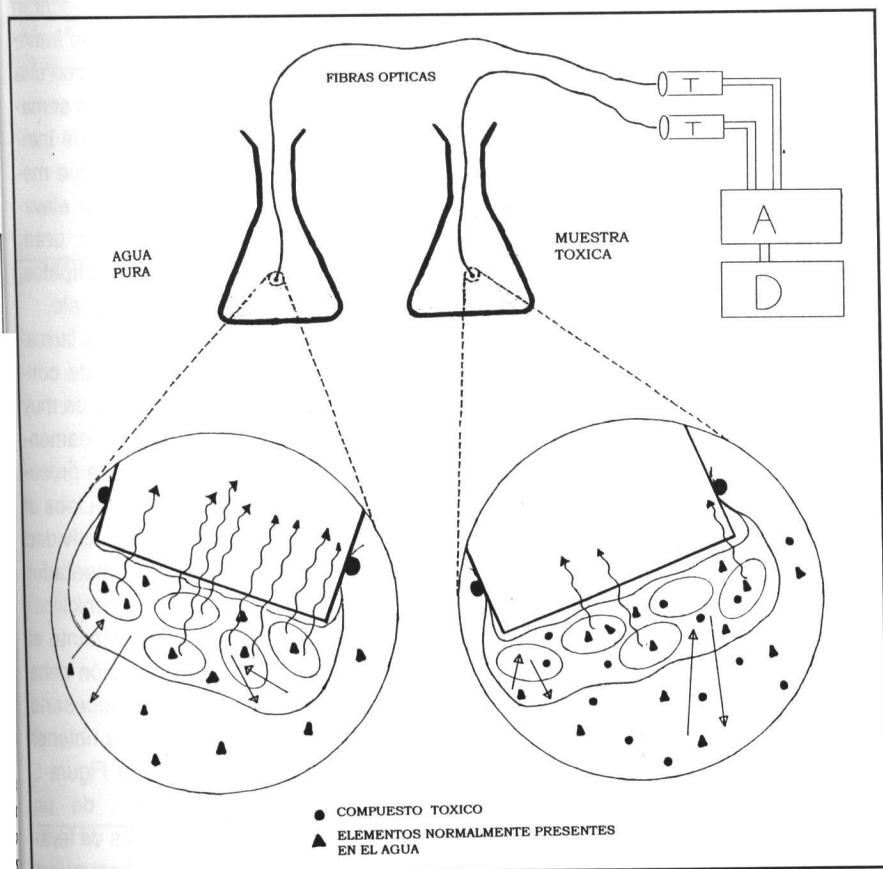


Figura 4. Esquema del principio de funcionamiento de un biosensor microbiano basado en células luminiscentes y detección de luz.

iones hidrógeno, ese es el caso de las *Flavinas Mono Nucleótidos*. Las reacciones de oxidación como ésta, producen o liberan un excedente de energía. En la mayoría de las reacciones que ocurren en los seres vivos esta energía se libera en forma de calor o se utiliza para producir síntesis de sustancias que el organismo necesita, movimiento, etc. En este caso particular la energía excedente se transforma en luz.

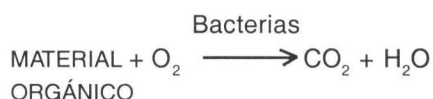
El ámbito de longitudes de onda de la luz emitida por las bacterias mediante esta reacción es entre 470-550 nm; dicho en otras palabras, la coloración de la luz emitida es verde azulada, y excepcionalmente, algunas especies del género *Vibrio* son capaces de emitir luz amarilla. Se ha publicado (Ramaiah & Chandramohan, 1993) que estas bacterias parecen ser muy sensibles al grado de contaminación marina, sea ésta de origen municipal (desechos cloacales) o bien de origen agro-industrial, comprobándose que en áreas donde la actividad humana es importante, el número de bacterias luminiscentes (unidades formadoras de colonias) es muy escasa o nula, encontrándose, en cambio, mutantes de las mismas especies pero «oscuras», que han perdido en forma permanente la capacidad de emitir luz.

Para finalizar, es interesante plantear la función de la luz en estas bacterias, o en otros términos, qué beneficio o ventaja adaptativa implicaría para estos organismos emitir luz. Esta ha sido una pregunta sin respuesta por mucho tiempo. En investigaciones recientes, realizadas en acuarios, se observó que las bacterias emiten luz cuando perciben movimiento del agua, como los que producen los copépodos (pequeños crustáceos que se alimentan de ellas). Los calamares son animales donde el sentido de la vista es muy importante y bien desarrollado, y cuando ven luz se dirigen hacia ella y se alimentan de los copépodos. Estos datos implican que, para defenderse de su depredador natural (copépodos), las bacterias atraen y

facilitan la alimentación de los calamares, inofensivos para las bacterias. La emisión de luz sería, entonces, una sofisticada y sutil arma de contraataque.

APLICACIONES DE LOS BIOSENSORES

Describiremos someramente algunas de las funciones de los biosensores, comenzando por sus aplicaciones en el área de la biología y en el monitoreo de la calidad ambiental. Cuando se desea conocer la calidad del agua, sea ésta de un río, lago, represa, o del agua que una industria arroja hacia un medio acuático (efluente), es importante conocer, entre otras cosas, el contenido de materia orgánica. Esto es muy importante, porque si la materia orgánica es mucha, las bacterias y otros microorganismos consumen esa materia orgánica y también todo el oxígeno disponible; el proceso o reacción es el siguiente:



Todo el oxígeno es consumido, llevando de esta manera a la muerte por asfixia a otros organismos que lo necesitan, fundamentalmente a los peces. Existen métodos en la actualidad para medir este parámetro, denominado DBO (demanda bioquímica de oxígeno), pero demoran entre 3 y 5 días, mientras que con un biosensor bacteriano es posible estimarlo en sólo unas pocas horas (Li & Chu, 1985).

También es importante en los estudios sobre contaminación obtener rápidamente información acerca de la toxicidad general de un ambiente dado, quizás sin importar demasiado cuál o cuáles (normalmente decenas de sustancias) son las responsables de esto. Midiendo el descenso del metabolismo de células en contacto con ese medio tóxico, se puede estimar, globalmente, la calidad del agua,

sin tener que identificar y cuantificar cada una de las sustancias tóxicas; el procedimiento requiere sólo de algunas horas.

En el área de la salud es necesaria normalmente una elevada especificidad por lo cual los biosensores utilizados son fundamentalmente enzimáticos. Existen en el mercado biosensores portátiles del tamaño de una lapicera y 30 gr. de peso que utilizando como material biológico la glucosa-oxidasa, son capaces de medir en menos de un minuto la concentración de glucosa en la sangre; su utilidad radica principalmente en la medicina de urgencia (Turner & Pickup, 1985).

También existen estudios avanzados para comercializar biosensores implantables, que permitan a los diabéticos insulino dependientes monitorear continuamente los niveles de glucosa en su sangre, para controlar de manera precisa el momento y la dosis de insulina que deben administrarse. El tamaño será como el de una jeringa de insulina, se colocará en la dermis (la capa de tejido inmediatamente debajo de la piel) con una vida útil de por lo menos una semana. El ámbito de sustancias de interés clínico que pueden medirse mediante estas técnicas es muy elevado; algunas de éstas son: urea, triglicéridos, colesterol, fosfolípidos, creatinina, inmunoglobulinas, etc.

La industria alimenticia y la farmacéutica tienen la necesidad de controlar procesos en los cuales es muy importante obtener instantáneamente y continuamente (control de proceso) uno o varios parámetros (Liebsch et al., 1989). Por ejemplo, la actividad de las bacterias en un fermentado (producción de yogurt o de penicilina) permitiendo conocer exactamente el momento en el cual la reacción debe ser detenida, y en caso necesario ajustar el procedimiento para obtener el producto deseado. En la Figura 1 se muestra el esquema de un biosensor basado en células de levadura de panadería (*Saccharomyces cerevisiae*) y un electrodo sensible al dióxido de carbono, diseñado para

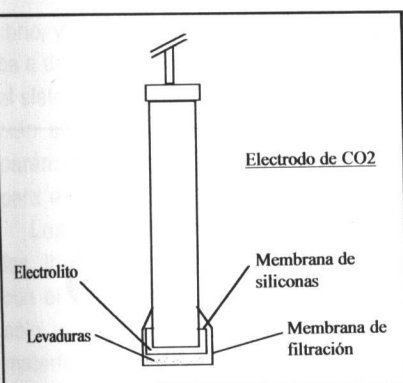


Figura 5. Biosensor basado en levaduras industriales y electrodo sensor de dióxido de carbono, utilizado para medir azúcares.

medir azúcares en alimentos. El principio de funcionamiento se basa en que cuando las levaduras consumen los azúcares, producen dióxido de carbono (CO_2); cuanto más azúcares tenga la muestra, las levaduras producirán más dióxido de carbono, el que atraviesa la membrana de silicona permeable a los gases, siendo detectado por el electrodo de CO_2 . El metabolismo de las levaduras se utiliza para estimar la concen-

tración de azúcares en el producto alimenticio, en forma rápida y sencilla.

Estos ejemplos muestran que los biosensores pueden ser de gran ayuda en estas áreas. Son una tecnología analítica ambientalmente "limpia", debido a que generan escasos residuos y el solvente exclusivo que utilizan es el agua. Es de esperar que el ámbito de las aplicaciones posibles continúe creciendo en los próximos años y que las normativas internacionales de Calidad Total y otras regulaciones consideren la utilización de estos instrumentos ingeniosos como un procedimiento adecuado para ciertas tareas analíticas.

REFERENCIAS

1. Cass, A. E. G. Biosensors. Oxford University Press. (1990).
2. Diefenderfer, A.J. Instrumentación electrónica. México, Nueva Editorial Interamericana, S.A. de C.V. (1984).
3. Gautier, S.M., Blum, L.J., Coulet, P.R. Fibre-optic biosensor based on luminescence and immobilized enzymes: Microdetermination of sorbitol,

- ethanol and oxalacetate. J. Biolumin. Chemilumin. 5(1): 57-63 (1990).
4. Haygood, M.G. Light organ symbioses in fishes. Critical reviews in Microbiology 19(4): 191-216 (1993).
5. Lehninger, A.L. Bioquímica. Ediciones Omega. (1988).
6. Li, You Rong., Chu Ju. Study of BOD microbial sensors for waste water treatment control. Appl. Biochem. Biotechnol. 28: 855-864 (1991).
7. Liebs, P., Riedel, K., Pfeiffer, D., Zimare, U., Lietz, F., Scheller, F. Biosensor application in food industry. Acta Biotechnol. 9(6): 534-541 (1989).
8. Lowe, C.R. An introduction to the concepts and technology of biosensors. Biosensors 1: 3-16 (1985).
9. Malmstadt, H.V., Enke, C.G., Crouch, S.R. Electronics and Instrumentation for Scientists. The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc. (1981).
10. Ramaiah, N., Chandramohan, D. Ecological and laboratory studies on the role of luminous bacteria and their luminescence in coastal pollution surveillance. Mar. Pollut. Bull. 26(4): 190-201 (1993).
11. Rechnitz, G., Ho, M.Y. Biosensors based on cell and tissue material. J. Biotechnol. 15(3): 201-218 (1990).
12. Schlegel, H.G. Microbiología General. Ediciones Omega (1979).
13. Turner, A.P.F., Pickup, J.C. Diabetes Mellitus: Biosensors for research and management. Biosensors 1: 85-115 (1985).

CIENCIA E INVESTIGACIÓN es una revista que tiene por objetivos:

- la publicación de temas básicos del conocimiento científico y tecnológico, a través de artículos accesibles a estudiantes y público en general.
- la difusión de las actividades desarrolladas por los científicos y tecnólogos argentinos en centros, laboratorios e institutos, así como también en reuniones nacionales e internacionales.
- la publicación de biografías, comentarios bibliográficos y trabajos relacionados con la historia de la ciencia y la técnica (evolución histórica de conceptos científicos y tecnológicos, historia de centros, laboratorios e institutos de investigación, etc.).

Sus páginas están abiertas a todos los interesados en colaborar y el Comité Editorial tiene a su cargo la selección de los artículos que serán publicados.

TERMODINÁMICA DEL NO EQUILIBRIO

La Física ante la Complejidad del Mundo Real y el Carácter Evolutivo del Universo

Por Juan R. de Xammar Oro*

Gracias al notable desarrollo de la física del no equilibrio durante los últimos años hoy podemos conocer cómo la Naturaleza realiza sus estructuras más delicadas y complejas, y cómo la flecha del tiempo puede ser fuente de orden.

INTRODUCCIÓN

La termodinámica clásica es pues la ciencia del equilibrio, una ciencia de estados finales, de estados homogéneos que sólo sufren cambios donde nunca aparece explícitamente el tiempo. Por ello se ha dicho que debe llamarse termostática. Pero una breve ojeada al mundo basta para constatar que el equilibrio no es regla, sino excepción y que todo proceso macroscópico natural exhibe un cierto grado de irreversibilidad. El mun-

do que percibimos parece quedar entonces fuera de la termostática. Es cuando la física, en los últimos años, hace nacer una termostática más realista, la del no equilibrio. Es extraordinario el amplio campo de aplicación de la misma, fenómenos sociales, económicos, físicos, químicos, astronómicos, ecológicos, etc., pero evidentemente su área de mayor impacto es la biología, porque los sistemas vivos son los que mayor grado de complejidad muestran en todos los niveles, desde el molecular hasta el de poblaciones de individuos. Si a un sistema vivo se lo aísla, privándolo de intercambio de materia y de energía, el segundo principio de la termodinámica se aplica con toda su fuerza obligándolo a dirigirse al estado de equilibrio, lo que es sinónimo de muerte biológica. Necesariamente

debe permanecer abierto y tener capacidad de mantenerse constantemente fuera del equilibrio. Es por eso que, en biología, este nuevo campo de la termodinámica ha encontrado no sólo un dominio inagotable de aplicación sino también una fuente de inspiración que ha sido decisiva para su propio progreso.

No debemos pensar que existen dos termodinámicas, del equilibrio (TE) y del no equilibrio (TNE). Esta última es una extensión, contiene a la primera, en consecuencia, las relaciones y resultados que se obtengan en TNE deben converger a los de TE cuando el sistema tiende al equilibrio. La ventaja de dicha extensión es que ahora nos permite conocer qué sucede mientras el mismo está evolucionando en el tiempo o se encuentra en un estado estacionario fuera del equilibrio.

*Juan R. de Xammar Oro es Doctor en Física (especialidad Biofísica), Miembro de la Carrera del Investigador Científico del CONICET y Profesor de la Cátedra de Biofísica de la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional de La Plata. Su lugar de trabajo es el Instituto de Física de Líquidos y Sistemas Biológicos (IFLYSIB), calle 59 n° 789; C.C. 565; La Plata (1500). E-mail: xammar@iflysib.lunlp.edu.ar

librio, ya que la clásica nos condenaba a un mundo estático a esperar que el sistema alcance el equilibrio, y recién allí, medir o calcular aquellos parámetros que lo describen y sólo para esa condición.

Los sistemas pueden ser: abiertos, intercambian materia y energía con el medio ambiente; cerrados, si sólo intercambian energía pero no materia; y aislados, cuando no intercambian ni lo uno ni lo otro. Los estados en que pueden encontrarse son tres: (I) estacionario de equilibrio, (II) estacionario de no equilibrio y (III) no estacionario. Se dice que es estacionario si ningún parámetro varía con el tiempo y no estacionario si encontramos aunque sólo sea uno que sí lo hace. La forma de averiguar en cuál se encuentra consiste en: observar si alguna magnitud está variando con el tiempo, si así sucede está en (III), de lo contrario sólo podremos afirmar que es estacionario, para saber si se trata de (I) o (II) nos fijamos si está aislado, de estarlo no hay duda que se encuentra en (I), pero si no lo está lo que debemos hacer es aislarlo a partir de un instante dado, si como consecuencia de este aislamiento algún parámetro ahora sí comienza a variar, entonces estaba en (II) en cambio, si las cosas continúan como antes estaba en (I). Más adelante vamos a ver que el equilibrio es un caso particular de estado estacionario.

De acuerdo con el concepto dado por Clausius en 1865, el Segundo Principio de la Termodinámica establece que en un sistema aislado la variación de entropía^a del mismo (dS_s) siempre es mayor o igual a cero. Matemáticamente queda establecido con la tan conocida relación $dS_s \geq 0$, la desigualdad corresponde al transitorio en que el sistema se encuentra fuera del equilibrio y la igualdad cuando lo alcanza. Esto no es otra cosa que un criterio de evolución para sistemas aislados, donde la función



La termodinámica tras el milagro de la vida

de estado entropía juega el papel del potencial que dirige el proceso: todo sistema que se lo aísla, a partir de un tiempo dado, evoluciona maximizando esta función. ¿Qué sucede en cambio con un sistema abierto? Aquí la desigualdad anterior pierde esa condición de potencial ya que dS_s puede ser mayor, igual o menor que cero. Prigogine^b dijo que, para que en un sistema abierto también se pueda aplicar una desigualdad que preste la misma utilidad, es necesario modificar la expresión de la entropía total del mismo separándola en dos términos, uno referido a la *producción interna de entropía* (dS_i) que dé cuenta de los procesos espontáneos que están teniendo lugar exclusivamente dentro del sistema y otro, *flujo (o balance) de entropía* (dS_e) que dé cuenta de los procesos de intercam-

bio (calor, trabajo, materia, etc.) entre el sistema y sus alrededores.

De esta manera se llega a la expresión $dS_s = dS_i + dS_e$ donde el Segundo Principio de la Termodinámica impone una restricción exclusivamente al signo de la producción interna de entropía $dS_i \geq 0$ y ninguna sobre dS_e , pudiendo ser positivo, negativo o cero. Esto hace que la variación total de entropía del sistema (dS_s) pueda tomar cualquier signo, dependiendo de los valores relativos de las dos contribuciones.

Es importante insistir en que sólo el término de producción interna de entropía tenga un signo bien definido. Si se acepta la entropía como una medida del desorden, está claro que los sistemas aislados tienen su evolución comprometida hacia el máximo caos; pero en cambio, en los sistemas abiertos, existe la posibilidad de una estructuración interior si la competencia entre los términos de producción y flujo de entropía se resuelve favorablemente.

^a Magnitud física que sólo puede crecer durante el desarrollo de cualquier transformación de energía. Boltzman le asocia una idea de orden que crece con la disminución de la entropía.

^b Ilya Prigogine, nació en Moscú en 1917. Físico. Recibió el Premio Nobel en 1977 por sus trabajos en Termodinámica del No Equilibrio. Introdujo el concepto de estructuras disipativas.

Como ejemplo de posibilidad de generación de orden en un sistema abierto, recordemos el clásico caso de las moléculas de hidrógeno y nitrógeno que dentro de una caja aislada evolucionan hacia una mezcla uniforme, pero si quitamos su aislación y calentamos un extremo de la misma mientras enfiamos el otro, el sistema evoluciona entonces hacia un estado estacionario en que la concentración de hidrógeno es más elevada en la parte caliente y la de nitrógeno en la parte más fría. La entropía producida por el flujo de calor que atraviesa la caja destruye la homogeneidad de la mezcla. Por tanto se trata de un proceso generador de orden, un proceso que sería imposible sin el flujo de calor impuesto desde el exterior.

TERMODINÁMICA LINEAL

El formalismo de la TNE, desarrollado por Onsager^c, se basa en las ecuaciones de balance de entropía, función disipación y relaciones recíprocas.

Para describir cuantitativamente un proceso, que pueda tener lugar en cualquiera de los tres estados termodinámicos descriptos anteriormente, definiremos una nueva función, a la cual denominaremos *función de disipación* (Φ), y que no es otra cosa que la variación de entropía por unidad de tiempo como consecuencia de los procesos espontáneos internos que están teniendo lugar en un sistema y evidentemente, por el segundo principio, deberá cumplir la condición de ser siempre mayor o igual a cero, es decir, $\Phi = dS/dt \geq 0$. Onsager dijo, la función disipación de un sistema se puede escribir en forma muy sencilla y clara si se la expresa en términos de las llamadas Fuerzas y Flujos Termodinámicos Asociados (o Conjugados).

$$\Phi = dS_{(t)}/dt = F_{\text{(fuerzas y flujos termodinámicos asociados)}}$$

Antes de escribirla de esta forma veamos primero qué se entiende por *Fuerzas y Flujos Termodinámicos* y qué es eso de *asociados*.

Observemos que todo proceso termodinámico tiene una causa que lo origina, por ejemplo: un flujo de calor, una diferencia de temperatura; un flujo de soluto, una diferencia de concentración; una velocidad de reacción, una afinidad química. Definimos, entonces, como "*fuerza*" *termodinámica a toda causa que origina un proceso termodinámico* y se la indica con "X". Hemos escrito fuerza entre comillas, por qué puede dar lugar a confusión, ya que en general no tiene porque tener ningún punto en común con las fuerzas newtonianas. Es una fuerza en un sentido generalizado, aún más, las distintas fuerzas tampoco tienen porque tener las mismas unidades.

Por otra parte Onsager afirmó que cualquier proceso termodinámico siempre se podrá expresar como un flujo, luego "*flujo*" *termodinámico es el efecto, es el propio proceso termodinámico* y se lo indica con "J". Aquí también flujo entre comillas, porque también es en un sentido generalizado y tampoco tienen porque tener las mismas unidades los diferentes flujos. Resumiendo, la *fuerza* es la causa y el *flujo* es el efecto.

Ahora bien, hemos dicho que las fuerzas y los flujos no tienen por qué serlos en un sentido estricto y también hemos insistido en que no tienen por qué tener las mismas unidades; sin embargo, Onsager observó, que siempre para un flujo existe una fuerza *natural* que lo provoca, tal que el producto escalar de ambos siempre tiene unidades de entropía por unidad de tiempo^d, ($J * X = [S/t]$), es decir, igual que las unidades de la función de disipación.

Las fuerzas y flujos que cumplen esta condición se llaman *asociados* (o *conjugados*). Por tanto a cada flujo le corresponde una fuerza asociada, veamos algunos ejemplos

X (fuerza asociada)	J (flujo asociado)
grad. de temperatura	flujo de calor
grad. de concentración	flujo de soluto
grad. de potencial eléctrico	flujo de cargas (corriente eléctrica)
grad. de presión	flujo de fluido (líquido o gas)
grad. de potencial químico	flujo de partículas (moles)
Afinidad química	velocidad de reacción

Ahora estamos en condiciones de escribir la función de disipación de acuerdo a como lo expresara Onsager: "*la variación (o producción) de entropía interna por unidad de tiempo es igual a la sumatoria de los productos escalares de los flujos por sus fuerzas asociadas que existen en el sistema*"

$$\Phi = dS/dt = \sum_{i=1}^n J_i * X_i$$

supuesto n procesos que ocurren simultáneamente. Conviene distinguir el subíndice i de la entropía, que significa que la entropía de la que hablamos es interna, del subíndice i de la fuerza y flujo, que representa un número natural.

Hemos afirmado que cada X_i es la causa de que exista J_i , por tanto no son independientes, porque entonces no la expresamos en función de una sola variable, por ejemplo de la fuerza, ya que es la causa. Para hacer esto debemos distinguir tres casos: si el sistema está *muy cerca*, *cerca* o *lejos* del equilibrio. En los dos primeros las relaciones entre fuerzas y flujos son lineales y, en consecuencia, dan lugar a la llamada TNE *Lineal* en tanto que, en el último, las relaciones dejan de ser lineales, aparecen términos de orden superior al primero, y así da lugar a la llamada TNE *No Lineal*.

En el caso en que estamos *muy cerca* (pequeños apartamientos o perturbaciones) las relaciones tomarán formas muy sencillas, bastantes conocidas por nosotros, debido a que vale la *aproximación de independencia entre los distintos pares de fuer-*

^c Lars Onsager: 1903-1976. Nació en Oslo. Físico. Recibió el Premio Nobel en 1968 por sus trabajos en Termodinámica del No Equilibrio.

^d Señalaremos en negrita las magnitudes vectoriales y en forma normal las escalares.

zas y flujos termodinámicos asociados, así, por ejemplo, tenemos: flujo de calor $\mathbf{J}_Q = -K \nabla T$, ley de Fourier; flujo de difusión $\mathbf{J}_d = -D \nabla C$, ley de Fick; flujo de cargas $\mathbf{J}_q = \sigma \nabla \varphi$, ley de Ohm; flujo de fluido $\mathbf{J}_f = -\eta \nabla P$, ley de Poiseuille; donde: K coeficiente de conductividad térmica, D coeficiente de difusión, σ coeficiente de conductividad eléctrica y η coeficiente de fluidez (inversa del coeficiente de viscosidad). Es decir, muy cerca del equilibrio se cumple $\mathbf{J}_i = \mathbf{L}_i \mathbf{X}_i$.

Si no se está *muy cerca* pero sí *cerca* del equilibrio, la aproximación de independencia ya no vale y cualquier fuerza puede dar lugar a cualquier flujo, es decir, fuerzas y flujos se acoplan entre sí. Aquí el flujo i -ésimo se expresa mediante una combinación lineal de todas las fuerzas existentes en el sistema, es decir

$$\mathbf{J}_i = \sum_{j=1}^n \mathbf{L}_{ij} \mathbf{X}_j$$

donde los $\mathbf{L}_{ij}$ son parámetros físicos fenomenológicos que deben medirse experimentalmente y reciben el nombre de coeficientes de Onsager. Introduciendo ésta en la expresión de Onsager obtenemos la relación más general válida para todos los casos de la termodinámica lineal

$$\dot{\Phi} = dS_t / dt = \sum_{i=1}^n \mathbf{J}_i \cdot \mathbf{X}_i =$$

$$= \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^n \mathbf{L}_{ij} \mathbf{X}_j \right] \cdot \mathbf{X}_i \geq 0$$

Para su mejor entendimiento veamos un ejemplo sencillo de acoplamiento de flujos y fuerzas. Tomemos el caso biológico de una membrana celular donde las dos fuerzas termodinámicas principales a que se encuentra sometida son gradientes de concentración y gradiente de potencial eléctrico, sea $\nabla C = \mathbf{X}_1$ y $\nabla \varphi = \mathbf{X}_2$ entonces tenemos

$$\mathbf{J}_1 = \mathbf{L}_{11} \mathbf{X}_1 + \mathbf{L}_{12} \mathbf{X}_2$$

$$\mathbf{J}_2 = \mathbf{L}_{21} \mathbf{X}_1 + \mathbf{L}_{22} \mathbf{X}_2$$

reemplazando

$$\begin{cases} \mathbf{J}_d = \mathbf{L}_{11} \nabla C + \mathbf{L}_{12} \nabla \varphi \\ \mathbf{J}_q = \mathbf{L}_{21} \nabla C + \mathbf{L}_{22} \nabla \varphi \end{cases}$$

donde $\mathbf{J}_d$ y $\mathbf{J}_q$ son respectivamente los flujos de difusión y de carga eléctrica que tienen lugar a través de la membrana celular y los coeficientes $\mathbf{L}_{ij}$ en este caso son: $\mathbf{L}_{11} = -D$, de difusión; $\mathbf{L}_{22} = -\sigma$, de conductividad eléctrica, en tanto que $\mathbf{L}_{12}$ da una medida de la difusión que se produce no debida al gradiente de concentración sino por existir un gradiente de potencial eléctrico y viceversa para $\mathbf{L}_{21}$. Observar que en la diagonal de la matriz que forman los coeficientes se encuentran los debidos a las fuerzas naturales, es decir, de las asociadas, en tanto que fuera de la diagonal están los coeficientes cruzados responsables de los acoplamientos. Si se está *muy cerca* del equilibrio, todos los coeficientes son nulos, menos los de la diagonal.

Los coeficientes de Onsager tienen restricciones y propiedades:

1) Consideremos que en un sistema esté ocurriendo únicamente un solo proceso. Por tanto, como la función disipación debe ser mayor que cero, deducimos que la fuerza y el flujo asociados han de tener idéntico signo. Esto quiere decir, que *los coeficientes fenomenológicos directos $\mathbf{L}_{ii}$, siempre han de ser positivos.*

2) Supongamos ahora que tenemos dos procesos lineales (i, j) acoplados, entonces la función de disipación será: $\Phi = \mathbf{J}_i \cdot \mathbf{X}_i + \mathbf{J}_j \cdot \mathbf{X}_j \geq 0$, sustituyendo $\mathbf{J}_i$ y $\mathbf{J}_j$ y operando queda

$$\Phi = \mathbf{L}_{ii} \mathbf{X}_i^2 + \mathbf{L}_{jj} \mathbf{X}_j^2 + (\mathbf{L}_{ij} + \mathbf{L}_{ji}) \mathbf{X}_i \mathbf{X}_j \geq 0$$

Para que Φ sea siempre positivo para cualquier par de valores arbitrarios de las variables, los coeficientes han de cumplir una serie de condiciones. La primera es que *los coeficientes directos sean siempre positivos* (como sucedía también cuando no había acoplamiento). La segunda viene expresada por la siguiente ecuación $\mathbf{L}_{ii} \mathbf{L}_{jj} \geq \mathbf{L}_{ij} \mathbf{L}_{ji}$. Es decir, *el producto de los coeficientes fenomenológicos cruzados siempre ha de ser menor o*

igual que el producto de los coeficientes fenomenológicos directos.

3) Se puede establecer otra relación importante, conocida como *relación recíproca de Onsager*, sólo demostrable a nivel microscópico mediante mecánica estadística, desde la termodinámica debe tomarse como un postulado, no obstante puede comprobarse empíricamente. Establece que *los coeficientes fenomenológicos cruzados simétricos son iguales entre sí:* $\mathbf{L}_{ij} = \mathbf{L}_{ji}$. En otras palabras, el efecto de la fuerza del proceso i sobre el flujo del proceso j es idéntico al que experimenta el flujo i como consecuencia de la fuerza del proceso j .

Antes de pasar a la termodinámica no lineal conviene dejar en claro algunos conceptos de fundamental importancia. Se llama *ligadura termodinámica* a toda fuerza del sistema que no varía con el tiempo por habérsela fijado desde el exterior. En la figura 1 se ilustra el caso de una sustancia en contacto con dos placas externas, a temperaturas fijas T_1 y T_2 , lo que da como resultado el surgimiento de un gradiente de temperatura que va de un extremo al otro de la sustancia y que permanece constante en el tiempo.

Un estado estacionario de no equilibrio sólo puede existir si se fijan (ligan) fuerzas termodinámicas desde el exterior.

Consideremos un sistema en estado no estacionario, caracterizado por n fuerzas termodinámicas ($\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2, \mathbf{X}_3, \dots, \mathbf{X}_k, \dots, \mathbf{X}_n$), donde k de ellas se mantienen constantes mediante ligaduras impuestas desde el exterior y las restantes ($n-k$) quedan libres. Ex-

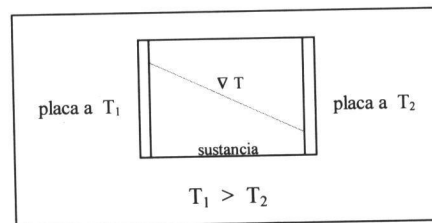


Fig. 1.- Ligadura Termodinámica. La fuerza termodinámica ∇T existe y permanece constante en el tiempo, gracias a que las placas 1 y 2 hacen de ligaduras externas en los extremos de la sustancia.

perimentalmente se observa que un sistema así, siempre evoluciona hacia un estado estacionario donde las $(n-k)$ fuerzas libres se hacen nulas y sólo quedan las k fuerzas ligadas con k flujos constantes. Un estado estacionario preparado de esta manera se llama "estado estacionario de orden k ". Es decir, el orden de un estado estacionario nos indica la cantidad de fuerzas termodinámicas fijas, o la cantidad de ligaduras existentes.

Observemos entonces que el equilibrio termodinámico queda definido como el estado estacionario de orden cero, o bien, como el que corresponde a no imponer ninguna ligadura termodinámica.

Ocurre además que, en un estado estacionario, los flujos asociados a las fuerzas libres son no solamente constantes sino nulos, y el sistema en dicho estado queda perfectamente caracterizado por el número y la intensidad de las fuerzas ligadas. Estas fuerzas miden de alguna manera la distancia al equilibrio y si no son muy intensas garantizan la aplicabilidad de la formulación lineal.

El balance entrópico refleja en qué forma puede mantenerse un estado estacionario. El sistema envía al ambiente, a través de dSe , toda la entropía que en su interior se produce. Como consecuencia, el sistema mantiene su entropía Ss constante, pues ambos términos entrópicos dSi y dSe son de igual magnitud pero signo contrario.

La persistencia de un sistema en un estado estacionario, equivale a la conservación de una determinada estructura o grado de organización. A mayor k , mayor orden, por eso al ir quitando cada ligadura evoluciona espontáneamente descendiendo de orden. Por otra parte, la evolución hacia un estado estacionario desde una configuración inicial supone la adquisición de dicha estructura final, o si se quiere, la acomodación interna del sistema a las condiciones impuestas por el ambiente.

Dentro del régimen lineal, la estabilidad del estado estacionario está asegurada, esto es, cualquier perturbación fortuita que suponga un des-

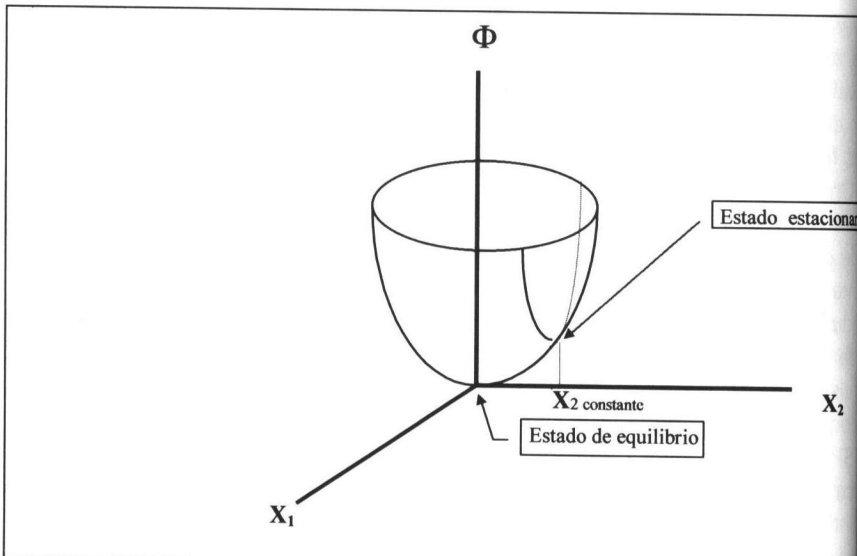


Fig. 2.- Representación de la función de disipación (Φ) frente a las fuerzas para un tema en el cual están ocurriendo dos procesos acoplados, supuesto que el sistema encuentra próximo al equilibrio. El pozo de potencial coincide con la situación de equilibrio, mientras que si se impone alguna restricción externa al sistema (por Ej. X_2 constante) el mínimo de la función Φ coincide con la situación de estado estacionario. Además, las líneas de aproximación a este estado estacionario son ortogonales, no pudiendo suceder un acercamiento oscilatorio a dicho estado.

plazamiento del mismo es vencida por el sistema que tiende a restituir la situación estacionaria. En otras palabras, las fluctuaciones que pueden aparecer no tienen oportunidad de progresar, se amortiguan y no trascienden macroscópicamente.

Todo esto da lugar a la llamada *ley de evolución hacia los estados estacionarios*, enunciada por Prigogine, y establece que: *espontáneamente, todo sistema siempre evoluciona hacia un estado estacionario de orden igual a la cantidad de fuerzas ligadas desde el exterior, y ese estado estacionario no es cualquiera sino el de mínima producción de entropía por unidad de tiempo.*

La ley de Prigogine da así un criterio de evolución, válido solamente dentro del régimen de la termodinámica lineal. Un sistema evolucionará siempre tratando de minimizar la función de disipación Φ . Es decir esta función actúa como una especie de potencial a ser minimizado, como se ilustra en la figura 2.

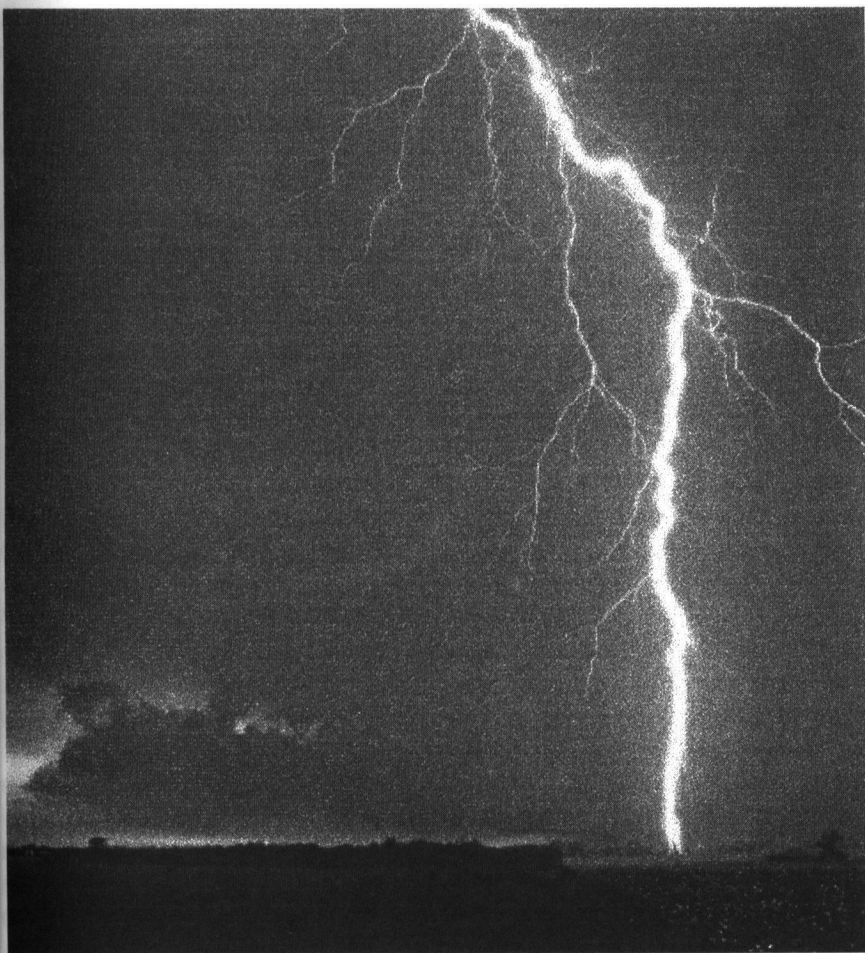
Se deduce que un estado estacionario de no equilibrio (II), lo que supone el mantenimiento de un cierto grado de orden, sólo se puede sostener al precio de disipar (bombear)

entropía hacia el exterior en forma continua, nace así el concepto *estructuras disipativas*, introducido por Prigogine, en contraposición a *estructuras de equilibrio* como es el caso de la de un cristal.

TERMODINÁMICA NO LINEAL

Las propiedades mencionadas anteriormente, teorema de mínima producción de entropía, carácter de potencial de la función de disipación, estabilidad de los estados estacionarios, solamente se cumplen siempre que existan relaciones lineales entre flujos y fuerzas, o lo que es lo mismo, exclusivamente cerca del equilibrio*. Para los casos que se apartan significativamente del mismo, se debe buscar otro criterio de evolución.

* Hablamos de estar muy cerca o cerca de equilibrio para la termodinámica lineal, pero, no obstante, existen muchos procesos en los cuales las relaciones de linealidad se siguen cumpliendo satisfactoriamente incluso en el caso de encontrarse bastante apartado del equilibrio. Esto es así porque en dichos procesos la función explícita que relaciona el flujo con la fuerza es intrínsecamente lineal o cuasilineal. Tal es el caso, por ejemplo, de la ley de Ohm y de la ley de Fick que tienen un amplio margen de aplicabilidad.



Los desequilibrios en la Naturaleza son pasos cruciales para la generación de sistemas estructurados y ordenados

que sea más general y que contenga como caso particular las proximidades del equilibrio y el equilibrio mismo.

Lejos del equilibrio, la situación deja de describirse como una prolongación lógica de dicho estado. Abandonan el llamado régimen lineal para entrar en el no lineal. Aquí aparecen discontinuidades e inestabilidades, el estado estacionario compatible con las condiciones que impone el ambiente ya no es único y las fluctuaciones espontáneas al azar¹, antes siempre condenadas a regresar, pueden

amplificarse y arrastrar los sistemas a nuevos estados ordenados estables. Bajo estas condiciones, un flujo no es más una combinación lineal de todas las fuerzas termodinámicas sino que se expresa como un desarrollo en serie de potencias de las mismas

$$J_i = \sum_j^n L_{ij} X_j + \frac{1}{2!} \sum_k^n \sum_j^n L_{ijk} X_j X_k + \dots$$

surgen así términos de orden dos, tres etc., que hacen que las soluciones de las relaciones pierdan unicidad.

El diagrama de la figura 3 ayuda a comprender la esencia de la nueva idea de orden sin necesidad de recurrir al complicado aparato matemático que lo describe. Sea ξ una medida de la distancia al equilibrio y η una medida de la estructura relacionada

con el número de soluciones (estados estables) accesibles al sistema y compatible con las condiciones de contorno. Hasta I se tiene régimen lineal y la solución es única y estable, como ocurre a una distancia ξ_1 en el gráfico. Desde el punto de vista de la estabilidad, puede decirse que todas las fluctuaciones tienden a amortiguarse, su papel no llega a incidir en la evolución del sistema. Más allá de I se entra en el régimen no lineal, aparecen puntos (nodos) de inestabilidad, señalados en el gráfico con números romanos, que representan una bifurcación matemática de la solución. En estos puntos el sistema es inestable y allí las fluctuaciones deciden el futuro del mismo, es decir, el camino a tomar en cada bifurcación. Además aparecen soluciones múltiples asociadas, como ocurre a una distancia ξ_2 . La multiplicidad de estados posibles (soluciones) se enriquece, en general, con la distancia al equilibrio.

Resulta interesante resaltar aquí la reconciliación entre azar y determinismo. La descripción de un sistema con bifurcaciones implica la coexistencia de elementos probabilísticos y deterministas. Entre dos puntos de bifurcación reinan las leyes deterministas, pero en la vecindad de cada uno de esos puntos prevalecen las fluctuaciones (azar). Esta colaboración entre azar y determinismo introduce un nuevo concepto de historia dentro de la física. En efecto, llegar al estado IV del diagrama por un aumento de la disipación y por lo tanto del parámetro ξ , conlleva el conocimiento de que las visitas a los puntos de bifurcación I, II y III se han realizado.

En el dominio lineal, la creación de estructuras está gobernada por el principio de orden de Boltzman, donde el estado estacionario final está estrictamente determinado por el extremal de un potencial termodinámico apropiado, y las fluctuaciones desempeñan un papel secundario. Lejos del equilibrio ocurre lo contrario, la existencia de un potencial termodinámico está comprometida y son las fluctuaciones quienes inducen

¹ La noción de azar no es fácil de definir en pocas palabras, pero para este artículo será suficiente con tomarla como *falta de conocimiento sobre un evento para predecirlo*. Para una discusión detallada el autor recomienda J. Wagensberg (1994).

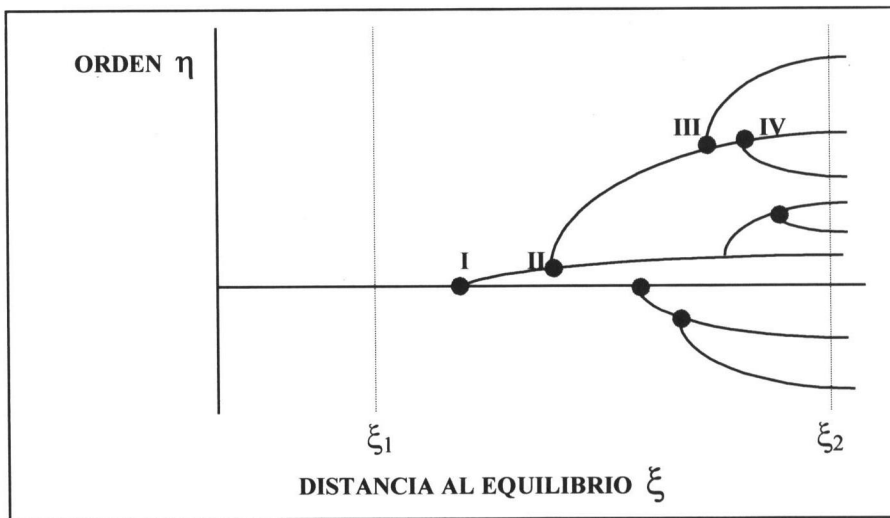


Fig. 3.- Hasta I dominio lineal, más allá dominio no lineal. En los puntos de bifurcación, que aparecen en negro más grueso, las fluctuaciones deciden el futuro del sistema.

nuevas estructuras; rige el principio de orden por fluctuaciones.

La diferencia que separa ambos principios puede resumirse cualitativamente de la siguiente manera. Cerca del equilibrio un sistema se ajusta a las ligaduras impuestas, con la obsesión de acomodarse en un estado lo más próximo posible al equilibrio, en cambio, lejos del equilibrio, un sistema se reorganiza mediante la amplificación y posterior estabilización de fluctuaciones en presencia de los intensos flujos de materia y energía que el ambiente impone. Adaptación en un caso y reestructuración en el otro. El orden logrado en la región no lineal se lo suele llamar orden por fluctuaciones en contraposición al orden de Boltzman.

Anteriormente expresamos que los campos de aplicación de la termodinámica del no equilibrio son muy amplios pero que sin duda el de mayor impacto es el de la biología; resulta importante entonces que dediquemos unos párrafos para discutir este caso en particular.

El orden biológico parece tener una imagen termodinámica que depende del tamaño (nivel) del escenario que se observa. Un orden de Boltzman para los sistemas individuales más grandes, donde pocas novedades pueden observarse; un orden por fluctuaciones en los sistemas

microscópicos, que continuamente aporta ideas nuevas que pueden progresar o no; y una mezcla de ambos órdenes para las poblaciones de in-

dividuos y ecosistemas. Así, termodinámica, (

a) Nivel de individuo integro como un todo: Es compatible con el régimen lineal, por tanto, prevalece el orden de Boltzman. Explica la embriogénesis, niñez y juventud, aros ctez, vejez y por último la muerte. Pasado esto se sintetiza en el cuadro de la figura 4.

b) Nivel microscópico, subcelular y molecular: Aquí no ocurre lo mismo se encuentran numerosas situaciones alejadas del equilibrio, veamos algunos casos.

- La química del metabolismo reúne todas las características de reacciones complejas no lineales con etapas catalizadas por enzimas (oscilaciones metabólicas).

- Autocatálisis, cuando la sustancia que se va sintetizando influye sobre su propia velocidad de síntesis incrementándola, lo que aumenta la concentración y, en consecuencia,

IMAGEN TERMODINÁMICA DEL DESARROLLO DE UN SER VIVO TOMADO EN FORMA INTEGRADA COMO UN TODO

ETAPA	DESCRIPCIÓN	RÉGIMEN TERMODINÁMICO	REPRESENTACIÓN SIMBÓLICA
EMBRIOGÉNESIS	Fecundación, formación, diferenciación, crecimiento y adaptación. Fuerte generación de orden estructural y funcional.	Lineal, con gran predominio de los estados no estacionarios (III). Fuerte respuesta a la información genética.	
NIÑEZ Y JUVENTUD	Crecimiento y adaptación	Lineal, aún con estados (III) pero evolucionando hacia los estacionarios (II). Adaptación progresiva a las ligaduras termodinámicas dadas por el código genético y por el medio ambiente.	
ADULTEZ	Estabilidad y mantenimiento.	Lineal, predominan ampliamente los estados estacionarios (II).	
VEJEZ	Deterioro, degeneración. Pérdida paulatina de estructura y función.	Lineal, lenta relajación de las ligaduras. Búsqueda continua de estados estacionarios de menor orden.	
MUERTE	Pérdida total de toda estructura y función	Equilibrio (I). Desaparece toda ligadura, estado estacionario de orden cero.	

Fig. 4.- La curva punteada representa la imagen termodinámica del desarrollo del ser vivo, la llena la del estado adulto que se alcanza por la adaptación del sistema a las ligaduras termodinámicas transmitidas por la fecundación (código genético) e impuestas por el ambiente.

produce más cantidad de la sustancia, es decir, tiene lugar lo que se conoce como una realimentación positiva, que responde a una ecuación no lineal.

- Fenómenos de transporte complejos con acoplamiento, inhibidores, pasajes a través de membranas, activación de bombas proteicas, etc.

- En la glicólisis ciertos intermedios metabólicos presentan oscilaciones temporales no amortiguadas en su concentración, con períodos y amplitudes reproducibles.

- Existen también interesantes convergencias numérico-experimentales que demuestran no linealidad en: a) el control de síntesis de proteínas en las células, donde una inestabilidad separa los efectos de activación e inhibición; b) en el funcionamiento del sistema nervioso (donde la diferencia de densidad de carga es la fuerza que conduce al sistema a la zona de inestabilidad); c) en la agregación de seres unicelulares para formar colonias.

Hay que tener en cuenta que en el caso de las reacciones químicas, solamente se cumplen las relaciones lineales entre flujo (velocidad de reacción) y fuerza (afinidad química) cuando las afinidades son muy inferiores al propio fondo térmico del sistema, ruido caracterizado por el producto RT , donde R es la constante de los gases y T la temperatura absoluta. Pero a temperaturas habituales el valor de RT es muy pequeño, y en último extremo lo que nos indica es que en las reacciones químicas la linealidad únicamente se produce en las estrictas proximidades del equilibrio.

Las mutaciones pueden considerarse como fluctuaciones en el sentido termodinámico; estas fluctuaciones se expresan como un término de ruido añadido a las ecuaciones cinéticas químicas que rigen las reacciones de autorreplicación. Si la mutación creada por una de esas fluctuaciones consigue catalizar su propia replicación y se adapta al medio sobrevivirá (reestructuración), y más aún, si posee ventajas sobre las originales, con el tiempo tenderá a sustituirlas por completo (evolución). Las fluctuaciones son, en gran medi-

da, las responsables de los errores que sobrevienen en el proceso de replicación autocatalítica.

c) Nivel de poblaciones y ecosistemas: En estos casos se presentan situaciones temporales que oscilan entre el régimen lineal y el no lineal. La presencia temporal de relaciones no lineales entre los elementos de una población o de un ecosistema puede conducir a situaciones de inestabilidad que lleve a uno o algunos de sus componentes tanto a una destrucción como a una autoorganización. El apartamiento de la linealidad puede tener lugar por perturbaciones fortuitas como erupciones volcánicas, terremotos, incendios, etc., o por comportamientos cíclicos naturales como sequías, inundaciones, epidemias, cambios significativos en la relación numérica entre depredador y presa, etc.

Antes de concluir es importante observar que la Termodinámica, a través de la función entropía, introduce en la física la noción de procesos no reversibles en el tiempo, una asimetría que se ha dado en llamar *flecha del tiempo*. Si analizamos detenidamente lo expuesto en este artículo, llegamos pues a la conclusión de que, para los sistemas abiertos, la irreversibilidad ya no puede asociarse sólo a un aumento del desorden, por el contrario, los desarrollos recientes de la física del no equilibrio muestran que la flecha del tiempo también puede ser fuente de orden. Es decir, la irreversibilidad puede conducir a la vez al desorden y al orden. Pero lejos del equilibrio, el papel constructivo de la irreversibilidad se torna aún más sorprendente.

CONCLUSIONES

- Cerca del equilibrio un sistema se ajusta a las ligaduras impuestas, con la obsesión de acomodarse en un estado estacionario lo más próximo posible al equilibrio. Aquí las relaciones son lineales, en consecuencia la estabilidad del sistema está asegurada, las fluctuaciones no tienen oportunidad de progresar, están siempre condenadas a regresar. En cambio, lejos del equilibrio, los esta-

dos estacionarios no son únicos, se pueden producir fluctuaciones espontáneas que pueden amplificarse y arrastrar los sistemas a nuevos estados estables, las ecuaciones dinámicas se hacen no lineales y sus soluciones pierden unicidad; llegamos de este modo a nuevos estados de organización espacio-temporal que pueden persistir o no según las condiciones les sean favorables o no. El que un sistema pase la frontera del régimen lineal no significa que no pueda volver al estado estacionario impuesto por las ligaduras de origen, sino que no está asegurado.

- En los sistemas biológicos la gran mayoría de los procesos macroscópicos son lineales. Los no lineales se hacen importantes a nivel microscópico. El fenómeno de la vida adquiere, bajo esta óptica de la termodinámica del no equilibrio, cierta coherencia en lo que a desarrollo, reestructuración y evolución se refiere. El estado adulto no puede mantenerse eternamente y el envejecimiento se puede interpretar como una aproximación gradual (relajación) del estado estacionario al de equilibrio. Puede decirse que por algún motivo el sistema se olvida de las órdenes genéticas (ligaduras) dadas en la fertilización. Posiblemente también contribuya a esto ruido, errores, perturbaciones, dadas por el medio ambiente. Por otra parte, huir del equilibrio, a nivel microscópico, pre-dispone a la intervención del orden por fluctuaciones a modo de fábrica continua de estructuras, cuya persistencia depende de una selección posterior (en el sentido darwiniano de la palabra) según una funcionalidad medida por un criterio bien convincente, la supervivencia. En este hecho descansa la seguridad de una evolución que nunca tendrá fin.

- El dominio lineal es determinista, en cambio en el no lineal ocurre que, entre dos puntos de bifurcación reinan las leyes deterministas, pero en la vecindad de cada uno de esos puntos reina el indeterminismo (fluctuaciones al azar). Esta colaboración entre azar y determinismo da lugar al mismo tiempo a la estabilidad

y a la evolución. Al orden de Boltzman y al orden por fluctuaciones.

"Tal vez la evidencia más contundente de la irreversibilidad no sea la vida sino la muerte. Pero cabe una esperanza, el tiempo es como un gran río que todo lo arrastra y, como todo gran río, debería desembocar en un inmenso mar. Quién podría negar que finalmente este mar no esté lleno de paz, amor y vida, y por qué no, también de sabiduría y verdad".

REFERENCIAS

- de Groot, S.R. *Thermodynamics of Irreversible Processes*. North-Holland Publishing Co, Amsterdam, 3ª edición 1981.
- Jou, D. y Llebot, J.E. *Introducción a la Termodinámica de Los Procesos Biológicos*. Ed. Labor, Barcelona, 1989.
- Lurié, D. and Wagensberg, J. *Entropy Balance in Biological Development and Heat Dissipation in Embryogenesis*. Journal of Non-Equilibrium Thermodynamics 4, p120; 1979.
- Prigogine, I. *El Fin de las Certidumbres*. Ed. Andrés Bello, Barcelona 1996.
- Wagensberg, J. *Ideas Sobre la Complejidad del Mundo*. Tusquets Editor Barcelona. 3ª edición. 1994.
- Wagensberg, J. *Patterns in Nonequilibrium Organization-Selforganization and Dissipative Structure*. The University of Texas Press, 1982.
- Brooks, D.R. and Wiley, E.D. *Evolution as Entropy. Toward a Unified Theory of Biology*. The University of Chicago Press. Chicago and London. 1986.

Se recuerda a los Miembros de la Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias que el pago de las cuotas anuales (Adherentes: \$ 20; Titulares: \$ 50; Institucionales; \$ 200) puede efectuarse, por cheque o giro postal, a nombre de la Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias o bien, depositando el importe en una sucursal del Citibank, en la cuenta de Caja de Ahorro Común N° 5-438653-017, a nombre de nuestra Asociación. En este caso se agradecerá el envío de copia de la boleta de depósito.

Colegiado Directivo
AAPC

LA CAPA DE OZONO EN LA PENÍNSULA ANTÁRTICA PARTE II: EL PERÍODO POSTERIOR A LA ERUPCIÓN DEL MONTE PINATUBO¹

Por Dr. Horacio A. Cazeneuve* y Dr. Carlos A. Rinaldi*

INTRODUCCIÓN

El contenido de ozono de la estratósfera es muy variable, en un lugar dado varía de un día al siguiente, varía según las estaciones del año, y de un año al siguiente. Además de estas variaciones diarias, estacionales y anuales, en años recientes se ha detectado una fuerte disminución en la concentración de ozono estratosférico, el conocido "agujero de ozono".

Se considera que el deterioro de la capa de ozono se debe a una combinación de fenómenos naturales y antropogénicos, estos últimos originados en la producción de clorofluorocarbonos. Entre los fenómenos naturales con mayor impacto en la

estratósfera se encuentran las erupciones volcánicas, que inyectan en la atmósfera grandes cantidades de partículas de aerosol.

La erupción del Monte Pinatubo ocurrida en las islas Filipinas en junio de 1991, inyectó en la atmósfera gases sulfurosos, principalmente como dióxido de azufre (SO_2), ceniza y polvo. Una parte de esas sustancias alcanzó las latitudes antárticas y fue atrapada en el vórtice polar, donde ejerció gran influencia en los procesos químicos que deterioran la capa de ozono.

Actualmente se acepta que las reacciones químicas heterogéneas pueden tener lugar en las partículas de aerosol volcánico, de un modo similar a lo que ocurre en las nubes estratosféricas polares, que abreviaremos NEP. El aerosol volcánico es dispersado en la estratósfera de todo el planeta, y no requiere las bajas temperaturas, que necesitan las NEP, para actuar químicamente sobre la molécula de ozono.

El dióxido de azufre inyectado en la estratósfera por las erupciones volcánicas, es rápidamente convertido en ácido sulfúrico mediante reacciones fotoquímicas. En procesos de condensación y nucleación se forma ácido sulfúrico en solución acuosa ($\text{H}_2\text{SO}_4/\text{H}_2\text{O}$).

La molécula de ácido sulfúrico no actúa directamente sobre la molécula de ozono, sino que en las superficies líquidas de ácido sulfúrico se produce la activación del cloro. En las superficies super enfriadas de gotas de ácido sulfúrico y agua, ocurren las reacciones químicas heterogéneas, muy activas en la producción de cloro reactivo, que actúa sobre la molécula de ozono disminuyendo substancialmente su abundancia en la estratósfera.

Las observaciones y los resultados sobre los efectos de las grandes erupciones en la capa de ozono, son limitados y con cierta ambigüedad. No obstante, sobre la base de múltiples observaciones y de resultados

¹ La Parte I "Antes de la Erupción del Monte Pinatubo" fue publicada en Ciencia e Investigación tomo 50, n° 3 y 4 (1998), págs. 92-96.

* Dirección Nacional del Antártico, Instituto Antártico Argentino, Cerrito 1248, 1010 Buenos Aires, Argentina.

teóricos, se plantea la hipótesis volcánica, según la cual la química heterogénea que se desarrolla en las gotas de aerosol de ácido sulfúrico y agua, produce la liberación de radicales de cloro, lo que incrementa la destrucción de la molécula de ozono.

La enorme masa de aerosol volcánico inyectada durante la erupción del Monte Pinatubo, además de incrementar el deterioro de la capa de ozono, ha producido importantes efectos en el entorno terrestre, principalmente en el clima, al alterar la composición y la dinámica de la atmósfera. De acuerdo con los resultados de Chazette *et al.* (1995), ha producido el calentamiento de la estratósfera y el enfriamiento en la superficie. El calentamiento en la estratósfera incrementó los movimientos ascendentes de masas de aire en latitudes bajas y los movimientos descendentes en latitudes medias, perturbando así la circulación global de la atmósfera (Tie *et al.* 1994).

OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Los datos empleados en este estudio han sido obtenidos en las bases antárticas Belgrano (77°52'S, 34°77'W) y Marambio (64°14'S, 56°38'W), y abarcan el período posterior a la erupción del Monte Pinatubo (1992-1995). Se emplea también información sobre la densidad de las nubes de aerosol volcánico, obtenidos mediante equipos de lidar en las bases Dumont d'Urville (66°40'S, 140°01'E) y Polo Sur (90°S).

En la base Belgrano los datos se obtienen mediante un espectrofotómetro Brewer, y en la base Marambio, operada por el Servicio Meteorológico Nacional, por medio de un espectrofotómetro Dobson. En esta última se efectúan ozonosondeos con globos-sonda que alcanzan alturas de 35 km.

Mediante los ozonosondeos se obtiene la distribución vertical de la presión parcial de ozono, y la variación de temperatura con la altura.

Debido a las condiciones durante la noche polar, ambos espectrofotómetros no funcionan en el período abril-agosto, pues la baja elevación del sol no permite efectuar mediciones confiables. En ese período el valor de la columna de ozono se obtiene por integración de los perfiles de ozono.

La ubicación de las bases Belgrano y Marambio faculta obtener una información de gran importancia sobre los procesos dinámicos de la estratósfera: Belgrano está ubicada en el interior del vórtice polar, mientras que Marambio se halla en su periferia. La ubicación de Marambio en el borde del vórtice polar, permite obtener información del interior y del exterior del vórtice, a medida que éste se desplaza y se mueve sobre la estación.

EL PERÍODO CERCANO A LA ERUPCIÓN DEL MONTE PINATUBO

Como destacamos en la nota anterior¹, en condiciones post volcánicas inmediatas, no se registró ninguna intrusión de aerosol volcánico en el vórtice polar antártico, al menos hasta comienzos de noviembre de 1991.

La fase de declinación de la concentración de ozono en el período agosto-octubre de 1992 (Figura 1), culmina el 6 de octubre con un valor mínimo de 133 UD, seguido por un rápido incremento en la columna de ozono, la que alcanza un máximo de 348 UD el 25 de octubre, simultáneo con un acelerado calentamiento de la estratósfera, el cual a su vez indica la ruptura del vórtice polar.

Los dos mínimos de 140 y 135 UD registrados entre fin de septiembre y comienzos de noviembre, aparentan ser el único rasgo del agujero de ozono en Marambio, en 1992. Luego se observan cuatro grandes pulsos superpuestos en un nivel creciente, que alcanzan un máximo de 350 UD el 25 de octubre. Estos cuatro máximos están vinculados con los bruscos incrementos en abundancia de ozono que se observa en la Figura 3, que ilustra los perfiles de octubre 11, 17, 24, 29 y 31.

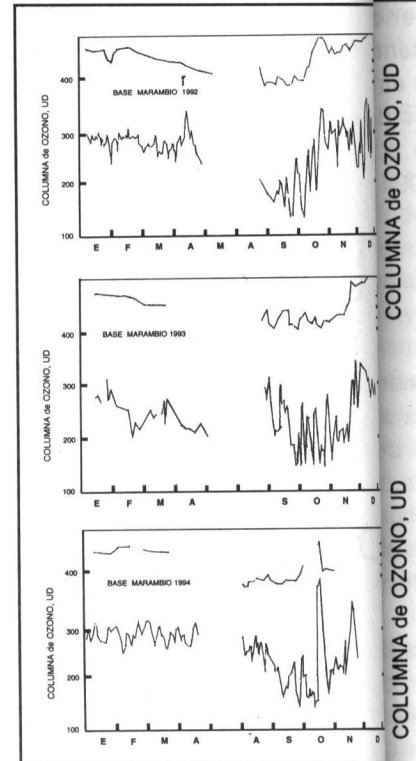


Fig. 1.— Niveles de la columna de ozono expresados en Unidades Dobson, obtenidos en base Marambio por el Servicio Meteorológico Nacional, en el período 1992-1994, mediante un espectrofotómetro Dobson.

La disminución de ozono en el período de noviembre 15-17, se debe probablemente al mezclado de aire del vórtice polar con aire de latitudes medias, siguiendo la disipación del vórtice polar.

Las primeras mediciones de la columna de ozono efectuadas en la base Belgrano, son presentadas en la Figura 2. Se observa un valor mínimo de 95 UD, el 13 de octubre, que es el valor más bajo registrado en nuestras estaciones, y uno de los más bajos registrados en el mundo desde que comenzaron las mediciones de la capa de ozono.

Ese mismo día (13 de octubre) se registró un mínimo de 185 UD en la base Marambio. La temperatura registrada en esa estación en la troposfera se decreció de -55°C a -67°C, mientras que a 20 Km de altura la temperatura se incrementó de -68°C a -45°C (Figura 1).

La columna de ozono sobre la base Belgrano se recuperó rápidamente.

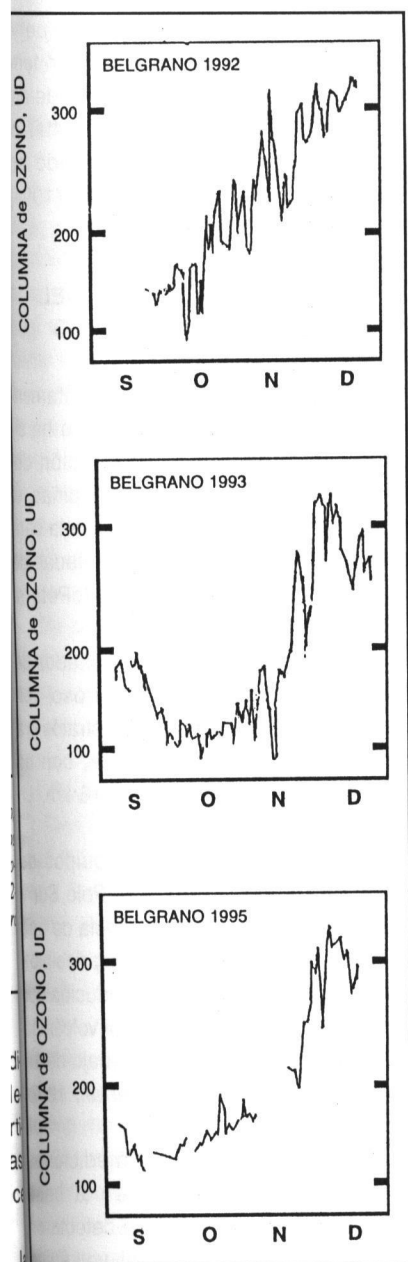


Fig. 2.- Datos de la columna de ozono medidos en Base Belgrano empleando un espectrofotómetro Brewer, en los años 1992, 1993 y 1995.

mente de su mínimo de 95 UD, con un incremento más rápido que el observado en años posteriores. Contrariamente a lo esperado, la columna de ozono no disminuyó en 1993 y nuevamente alcanzó niveles muy bajos, con 102 UD el 17 de noviembre. Esos bajos niveles se mantuvieron en 1993 en ambas estaciones (Figuras 1 y 2), y particularmente en la región 11-15 Km de altura observada en los ozonosondeos de la base Marambio. El nivel de ozono se mantuvo bajo, y se recuperó recién a fin de noviem-

bre, con un rápido incremento. La temperatura estratosférica también aumentó rápidamente, desde -79°C el 28 de octubre hasta -38°C el 26 de noviembre.

La pérdida anormal de ozono en 1992 continuó y alcanzó su máximo en 1993 en ambas estaciones. Contrariamente a lo que puede esperarse el nivel de ozono no se incrementó en 1993, como resultado de la esperada moderación en la destrucción de la molécula de ozono, y nuevamente cayó a valores muy bajos, alcanzando 102 UD el 17 de noviembre en la base Belgrano.

El aumento de temperatura estratosférica registrado en Marambio en noviembre de 1993, fue acompañado por el incremento de ozono desde 150 a 340 UD, el máximo del año. En el mismo período en la base Belgrano el nivel de ozono pasó de su nivel mínimo de 104 UD el 18 de noviembre, a 320 el 8 de diciembre (Figuras 1 y 2).

Como los datos de ozono de la base Belgrano de 1994 no se encuentran disponibles, presentamos los datos de 1995 como representativos del período posterior a la erupción. Aunque en 1995 el nivel de ozono en Belgrano no alcanzó los mínimos de años anteriores, fue muy bajo en 1995, y se mantuvo hasta diciembre de ese año (Figura 2).

PERÍODO PREVIO A LA FORMACIÓN DEL VÓRTICE POLAR

En el período febrero-abril de 1993 se observa una pronunciada depresión en el nivel de ozono en la base Marambio (Figura 1). En ese período es muy poco probable que las NEP se encuentran presentes, puesto que la temperatura es demasiado alta para permitir su formación. Esta depresión anormal ocurrió en ausencia de química heterogénea, y en latitudes, alturas y épocas del año en que las NEP no pueden formarse, por lo cual puede ser atribuida a la presencia de partículas de aerosol volcánico, solamente. Esta observación puede apoyar la hipótesis volcánica, y alentar el

estudio de los efectos químicos de tal aerosol. Puede también considerarse que el aerosol presente durante la formación del vórtice polar, permaneció dentro del mismo durante la época del agujero de ozono.

UNA REGIÓN SIN OZONO

El instrumental a bordo de los ozonosondas detectó entre octubre 4 y 12 de 1992, una región cuya columna de ozono es casi cero, entre 15 y 18 Km de altura, en la base Marambio. Dicho vacío fue registrado en los consecutivos sondeos de ese período y en la Figura 3 se muestran los sondeos del 4 y 7 de octubre.

Aunque en muchas ocasiones se observó una severa depresión de ozono en nuestras estaciones, nunca se ha registrado lo que aparenta ser una región libre de ozono. Esta situación tan inusual puede deberse a la presencia durante prolongados períodos, del aerosol del Monte Pinatubo. Un vacío similar que fue comunicado por Hofmann *et al*, (1994), ocurrió el 11 de octubre de 1992 en la estación Polo Sur. Si bien el vacío observado en Marambio tiene una duración mucho mayor, ambos eventos deben estar relacionados, puesto que no existen precedentes de esa situación extrema.

AUMENTOS BRUSCOS E INESPERADOS

En el período de máxima depresión de ozono se registran tres grandes pulsos que alcanzan 346 UD el 25 de octubre de 1992 (Figura 1). En la misma fecha que ocurrieron esos pulsos, los perfiles de ozono de octubre 17, 24, 29 y 31 (Figura 3), presentan incrementos abruptos a alturas que varían entre 15 y 18 Km, los que alcanzan una presión parcial de ozono muy alta. En los perfiles de octubre 24 y 31 se observa una presión parcial de 22 mPa, la cual no ha sido registrada anteriormente.

La estructura de capas múltiples que hemos descrito en nuestra nota anterior, que caracteriza la región del agujero de ozono (14-24 Km de altura), aparece debajo de 15 Km de al-

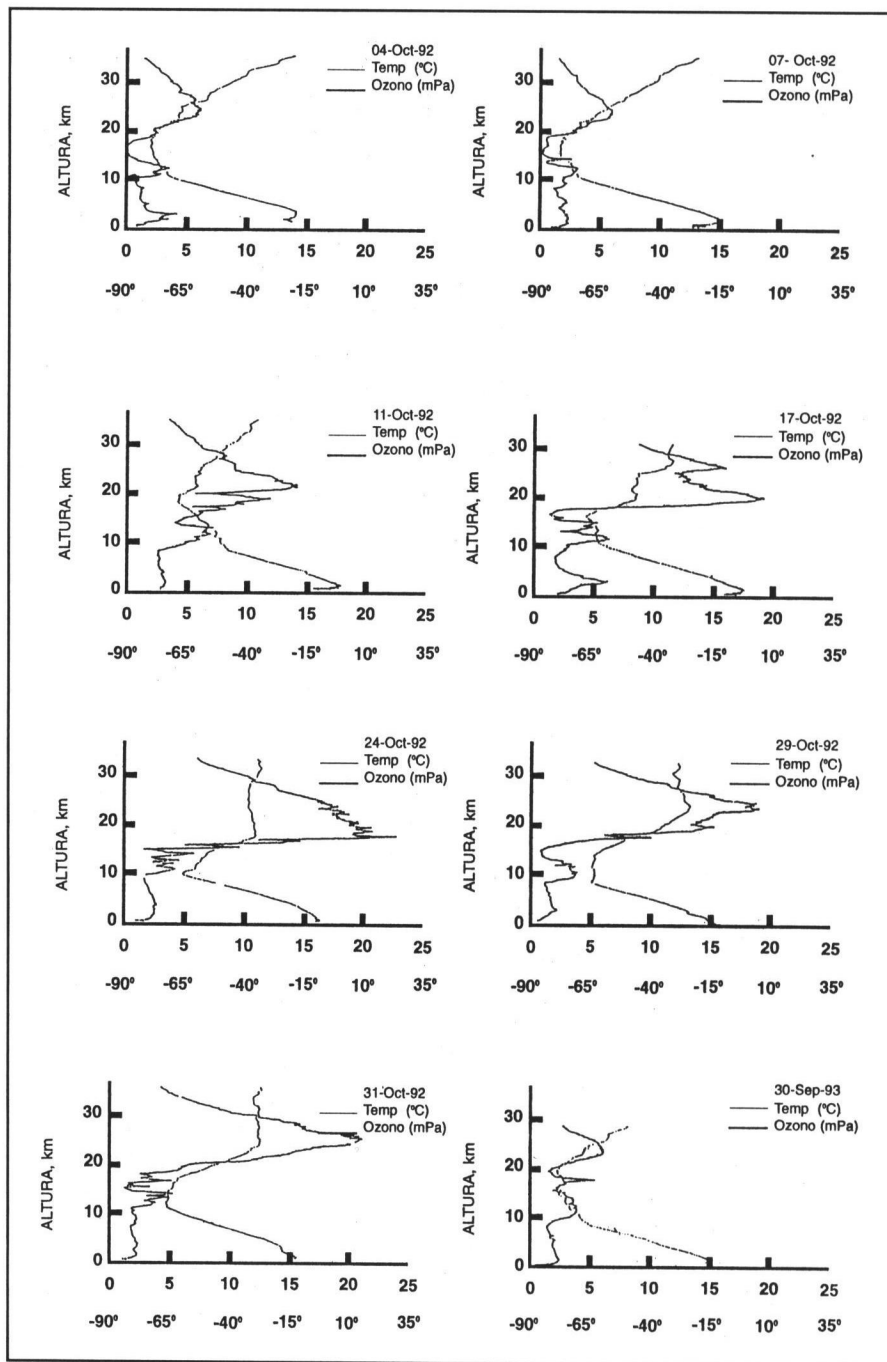


Fig. 3.— Perfiles de presión parcial de ozono y de temperatura registrados en Base Marambio mediante ozonosondeos en 1992, y el último, en 1993.

tura en los cuatro perfiles que hemos mencionado, a lo cual debe agregarse la presencia de una pronunciada capa de ozono en la tropósfera baja, entre 1 y 3 Km de altura el 4 de octubre, y entre 1,8 y 3,5 Km el 17 de octubre de 1992.

Podría considerarse que tales eventos episódicos ocurren cuando el vórtice polar se desplaza e interactúa con el flujo subtropical. No obstante, es muy poco probable que el movi-

miento del vórtice polar pueda haber causado las grandes fluctuaciones, puesto que ni la magnitud ni la regularidad de las fluctuaciones favorecen este punto de vista.

La imagen de un vórtice permeable en algunas regiones de la estratósfera, puede ser considerada para intentar una explicación de los saltos en la abundancia de ozono observados en los perfiles, y en los grandes pulsos, simultáneos con esos saltos.

El grado de aislación y penetrabilidad del vórtice polar es un tema aún no resuelto. El transporte de aire hacia el interior del vórtice, antes de su ruptura, ha sido investigado por Bowman (1993, 1996), Chen (1994) y Pierce *et al.* (1994).

EFFECTOS POSIBLES DEL AEROSOL VOLCÁNICO

El déficit de ozono supuestamente debido al aerosol volcánico ha sido relacionado con la erupción del Monte Pinatubo, en las Filipinas, la cual inyectó en la estratósfera la cantidad de 15 millones de toneladas de compuestos sulfurosos (McPeters *et al.*, 1993).

De acuerdo con los resultados de Deshler *et al.* (1993), el aerosol volcánico se concentró en la estratósfera debajo de 20 km de altura, con un ancho máximo entre 12 y 16 km, durante el invierno antártico.

Las mediciones con equipos de lidar hechas en las Bases Polo Sur y McMurdo, indican la presencia de una densa capa de aerosol, a principios de noviembre de 1991, producida por una penetración de aerosol volcánico dentro del vórtice polar, debajo de 20 km de altura (Hofmann *et al.*, 1994; Cacciani *et al.*, 1993).

Por otra parte, las mediciones de lidar hechas en la base francesa Dumont d'Urville detectaron la presencia de aerosol volcánico cuando la base estaba fuera del vórtice, a fin de octubre de 1991 (Gardner *et al.*, 1994, 1996). Los aerosoles producidos por la erupción del Monte Pinatubo fueron transportados a la estratósfera antártica después de la disipación del vórtice polar, cuando era improbable la presencia de las NEP.

No conocemos las causas por las cuales el agujero de ozono es más profundo en 1993 que en 1992, si la erupción del monte Pinatubo ocurrió en 1991.

Puede argumentarse que la prolongada pérdida de ozono es debida a las menores temperaturas estratosféricas en 1993, lo que hace más activas las reacciones heterogéneas. Otra importante contribución puede ser el tiempo requerido para

sol volcánico para alcanzar la estratósfera, después de la erupción.

SUMARIO Y CONCLUSIONES

La observación principal en el período abarcado por la presente investigación, es la persistencia del vórtice polar, y su aislación durante períodos prolongados, lo cual puede deberse a la acción de las partículas de aerosol volcánico, que producen las perturbaciones heterogéneas. El aerosol volcánico de la erupción del Monte Pinatubo probablemente contribuyó a la excepcional severidad y extensión de la reducción de ozono estratosférico en 1992 y 1993.

De acuerdo con los resultados de Brasseur y Granier (1992), las partículas de aerosol son activas con temperaturas más altas que las NEP, lo cual a su vez induce un aumento del efecto natural de las NEP.

También debe considerarse la posibilidad de que el aerosol volcánico haya llegado a las latitudes antárticas, proveniente del reservorio estratosférico (Smithsonian Institution, 1993). Estas observaciones aparecen aportar cierta evidencia de un cambio en los tiempos requeridos por la circulación atmosférica para el transporte de aerosol volcánico.

Las mediciones de concentración de aerosol efectuadas en el Hemisferio Norte, indican una reducción importante que explica la recuperación de la capa de ozono al comienzo de 1994. Cualquier efecto que pudo atribuirse al aerosol del Monte Pinatubo, debió haber sido muy débil en el período del agujero de ozono de 1994, y de los años siguientes. En vista de esta ambigüedad, la cuestión debe considerarse como dependiente de nuevas evidencias.

Otra observación inusual en octubre de 1992 fue la casi completa destrucción de la molécula de ozono, observada en los perfiles (Figura 3), a alturas de 15-18 km.

En ese período el ozono total era inferior a 100 UD, por primera vez desde que se iniciaron los registros en nuestras bases antárticas. No obstante, el incremento de la columna de

ozono después de esos mínimos fue mucho más rápido que en otros años.

El bajo nivel de ozono que en la Base Belgrano se mantuvo hasta diciembre, en 1995, puede estar vinculado con las muy bajas temperaturas estratosféricas de invierno y primavera. Estas fueron muy bajas en 1995, probablemente como resultado de la severa disminución de ozono ocurrida en los años anteriores.

No podemos afirmar si las grandes fluctuaciones de ozono son de origen fotoquímico, o si se deben a advección de aire. Si bien esas fluctuaciones podrían ser atribuidas a los pasos del vórtice polar sobre la estación, si ésta fuera la causa principal, las fluctuaciones deberían ser mucho más irregulares.

La temperatura estratosférica medida por los globos-sonda en 1992 sobre Marambio, no era inferior a lo normal en 1992 y 1993 en el rango de alturas de la pérdida de ozono. Por ese motivo puede considerarse muy improbable que una actividad excesiva de las NEP haya sido la causa de la severidad del agujero de ozono en esos años. La ausencia de efectos que puedan atribuirse al aerosol del Monte Pinatubo, puede explicarse en base a los resultados de Hofmann (1992) y de Godin *et al.* (1996), que indican que el aerosol volcánico recién penetró el vórtice polar a fines de 1991. En esa época la temperatura estratosférica era demasiado alta para permitir pérdidas importantes de ozono.

En cuanto a la estructura de capas múltiples dentro de la región de depresión de ozono, la explicación más aceptable es un influjo de ozono producido por algunos episodios con intrusiones de ozono, en un vórtice perturbado, con la circulación circumpolar de aire rico en ozono sobre la Base Marambio.

Este estudio es un intento de visualizar lo que ocurre en las condiciones de la estratósfera antártica. La incertidumbre de los resultados no debe sorprendernos, pues no conocemos la relación cuantitativa entre las variaciones observadas y las fuentes que las producen, lo cual impide una aproximación más rigurosa.

REFERENCIAS

- Bowman K. 1993. Large-scale isentropic mixing properties of the antarctic polar vortex from analyzed winds. *J. Geophys. Res.*, 98: 23013.
- Bowman K. 1996. Rossby waves phase speeds and mixing barriers in the stratosphere. part I: Observations. *J. Atmos. Sci.*, 53: 6.
- Brasseur G. and C. Granier. 1992. Mount Pinatubo aerosol, chlorofluorocarbons and ozone depletion. *Science* 257: 1239.
- Cacciani M., di Girolamo P., di Sarra A., Fiocco G. and Fua D. 1993. Volcanic aerosol layers observed by lidar at South Pole. *Geophys. Res. Lett.*, 20: 809.
- Chazette P., David C., Lefrere J., Godin S., Pelon J. and Megie G. 1995. Comparative lidar study of the optical, geometrical and dynamical properties of stratospheric post-volcanic aerosols, following the eruptions of El Chichon and Mount Pinatubo. *J. Geophys. Res.* 100: 23195.
- Chen P. 1994. The permeability of the antarctic vortex edge. *J. Geophys. Res.*, 99: 20563.
- Deshler T., Johnson B.J. and Rozier W.R. 1993. Changes in the character of polar stratospheric clouds over Antarctica in 1992 due to the Pinatubo volcanic aerosol. *Geophys. Res. Lett.* 21: 273.
- Godin S., David C., Stefanutti L., del Guasta M. and Morandi M. 1994. Ozone and aerosol lidar measurements in 1991 and 1992 in Dumont d'Urville. Conference Proceedings, 45. Italian research on Antarctic Atmosphere, M. Colacino, Ed., SIF, Bologna, Italia.
- Godin S., David C. and Guirlet M. 1996. Evolution of the Mt Pinatubo volcanic cloud and analysis of its effects on the ozone amount as observed from ground-based measurements performed in the Northern and Southern latitudes. The Mount Pinatubo eruption, Ed. G. Fiocco, Springer Verlag, Berlin.
- Hofman D.J., Oltmans S.J., Harris J.M., Solomon S., Deshler T. and Johnson B.J. 1992. Observations and possible causes of a new depletion in Antarctica in 1991. *Nature*, 359: 283.
- Hofmann D.J., Oltmans S.J., Lathrop J.A., Harris J.M. and Vomell H. 1994. Record low ozone at the South Pole in the spring of 1993. *Geophys. Res. Lett.*, 21: 6.
- McPeters R.D. 1971. The atmospheric SO₂ budget for Pinatubo derived from NOAA-11, SBUV/2 spectral data. *Geophys. Res. Lett.*, 20: 1971.
- Pierce R.B., Grose W.L., Swinbank R. and O'Neill A. Mixing processes within the polar night jet. *J. Atmos. Sci.*, 51: 2957.
- Smithsonian Institution. 1993. Bulletin of the Global Volcanism Newtork. 18, N° 9, 11.
- Tie S., Brasseur G., Briegleb B. and Granier. 1994. C. Two-dimensional simulation of Pinatubo eruption and its effects on stratospheric ozone. *J. Geophys. Res.*, 99: 20545.

EL DESCUBRIMIENTO DE LA FISIÓN NUCLEAR

Por Renato Radicella*

El descubrimiento de la fisión nuclear por Otto Hahn y Fritz Strassmann, en 1939, significó la culminación de una serie de hallazgos que por sus implicancias revolucionarias, llegaron a sorprender a los propios científicos que los habían realizado

La década del 30 fue pródiga en descubrimientos experimentales trascendentes en el campo de la física nuclear. Chadwick descubrió en 1932 el neutrón, la misteriosa "radiación del berilio" que había sido observada al bombardear este elemento con partículas alfa**. El mismo año Anderson descubrió el positrón. Dos años después, en 1934, los esposos Joliot-Curie produjeron un isótopo radiactivo que no existe en la Naturaleza y demostraron la posibilidad de producir radioisótopos artificiales mediante la irradiación de núcleos estables con partículas nucleares.

* Renato Radicella es Doctor en Química de la Universidad Nacional de Tucumán. Efectuó estudios de post-gradó sobre la fisión en la Universidad de Oslo, Noruega (1958-1959) y se desempeñó como Investigador Invitado del Centro Nuclear de Saclay, Francia (1966-1967). Especialista en química nuclear, ingresó en 1955 como Investigador a la Comisión Nacional de Energía Atómica, donde actualmente se desempeña como Asesor. Ha sido Jefe del sector de cooperación técnica para América Latina del Organismo Internacional de Energía Atómica en Viena (1990-1997).

** La reacción que dio lugar a la formación del neutrón es: ${}^9\text{Be} (\alpha, n) {}^{12}\text{C}$, o sea, ${}^9\text{Be} + {}^4\text{He} \rightarrow {}^{12}\text{C} + n$

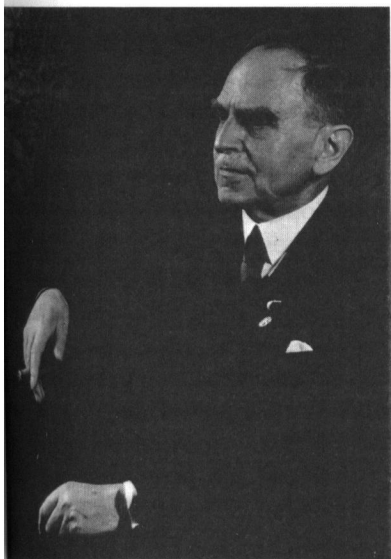
Los descubrimientos se sucedieron con una velocidad vertiginosa en distintas partes del mundo y casi simultáneamente. Al finalizar la década, en las postrimerías de 1938, un descubrimiento, el de la fisión, estará destinado a revolucionar no sólo la física nuclear: sus consecuencias modificarán el curso de la historia de una parte importante de la humanidad en este siglo. Lo harán, con la ambivalencia de muchas de las creaciones humanas, en las direcciones más opuestas. Por una parte la horrorosa experiencia de Hiroshima y Nagasaki demostrará que el hombre ha accedido a un poder de destrucción nunca imaginado hasta el momento. Las grandes potencias replantearán sus estrategias militares basándolas en la teoría demencial de la aniquilación del enemigo y de una buena porción de sí mismas y de la especie.

Por otra parte, los beneficios de la energía nuclear y de la tecnología relacionada con ella se harán sentir muy pronto en una amplia gama de actividades. En pocos decenios muchos países contarán con la energía

nuclear para satisfacer parte de las necesidades energéticas. Para sólo un caso, actualmente más del 78% de la energía eléctrica producida en Francia es de origen nuclear. La medicina, la agricultura, la industria sacarán también un provecho substancial de la aplicación de radioisótopos y de las radiaciones, subproductos de la energía nuclear.

Próximo a los sesenta años de la publicación del descubrimiento de la fisión del uranio, en enero de 1999, queremos recordar la cadena de hallazgos que llevó a los químicos Otto Hahn (Foto 1) y Fritz Strassmann a descubrir la fisión, fenómeno que había sido esquivo a los mejores experimentos de la época.

De esa cadena, uno de los primeros eslabones fue el descubrimiento de la radiactividad artificial. En esta experiencia, admirable por su sencillez, Irene Curie y su esposo Frédéric Joliot demostraron en 1934 la formación del ${}^{30}\text{P}$ por irradiación de una lámina de aluminio con partículas alfa. Habían observado previamente en una serie de experiencias



Una dedicatoria radioquímica enviada a Buenos Aires
por Otto Hahn
Buenos Aires 1954

Foto 1.- Fotografía de Otto Hahn dedicada a sus "nietos" radioquímicos de Buenos Aires. W. Seelmann-Eggebert, discípulo predilecto de Hahn, había sido el creador del grupo de radioquímica argentino, de ahí el "parentesco" mencionado en la dedicatoria.

los positrones, que al someter el aluminio a un haz de partículas alfa, el metal emitía electrones positivos aún después de varios minutos de haber sido alejado de la fuente de partículas. Supusieron que tenía lugar la reacción $^{27}\text{Al} (\alpha, n) ^{30}\text{P}$ y que el ^{30}P se transformaba en ^{30}Si por emisión de partículas β^+ .

Para demostrarlo, separaron el fósforo como PH_3 gaseoso atacando con ácido clorhídrico la lámina de aluminio irradiada, en presencia de una pequeña cantidad de fósforo rojo como portador. El PH_3 , que arrastra el ^{30}P , se recogía en un tubo de paredes lo suficientemente delgadas como para permitir el pasaje y la detección de las partículas beta emitidas por el ^{30}P . De esta forma confirmaron la reacción nuclear y determinaron el período de semidesintegración del ^{30}P , que tiene un valor de 2,5 minutos.

El descubrimiento de la radiactividad artificial valió a sus autores el Premio Nobel de química y desató

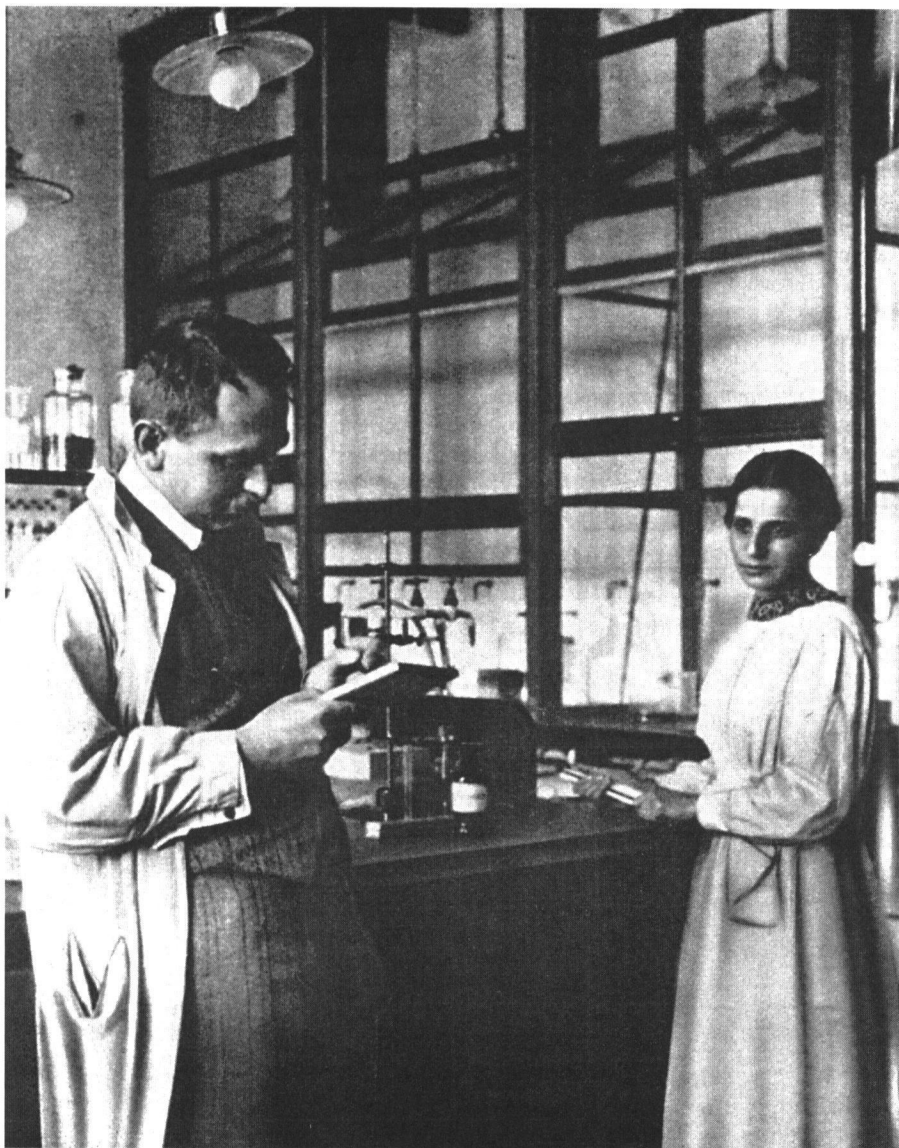


Foto 2.- Otto Hahn y Lise Meitner en una fotografía de 1913.

una intensa búsqueda de nuevos radionucleidos en los principales laboratorios del mundo. Además de los Joliot-Curie en París, en la misma línea trabajaban intensamente Otto Hahn y Lise Meitner (Foto 2) en el Kaiser Wilhelm Institut für Chemie de Berlín-Dalhem (Foto 3). Como habían previsto los Joliot-Curie, los isótopos radiactivos artificiales podían ser producidos por otras partículas, entre ellas el neutrón.

En Roma, a principio de 1934, Fermi y sus colaboradores Amaldi, D'Agostino, Rasetti y Segré emprendieron el bombardeo sistemático con neutrones de todos aquellos elementos de los cuales consiguieron mues-

tras suficientemente puras. En un tiempo muy breve identificaron treinta y siete radionucleidos nuevos.

Al irradiar uranio con neutrones, Fermi y sus colaboradores hallaron un hecho sorprendente: la irradiación daba lugar a una actividad mucho mayor que la esperada y a la formación de varios emisores beta difíciles de identificar. Trataron de separar estas actividades y encontraron que algunas de ellas coprecipitaban con MnO_2 . Las atribuyeron a un elemento homólogo del manganeso y del renio, que tendría $Z = 93$ y que denominaron ausonio (símbolo Ao) o eka-renio. Este, por desintegración β^- , formaría el elemento 94, hesperio

Transuránicos y actínidos

En la década del 30 la búsqueda de nuevos elementos fue uno de los temas de mayor interés en el campo de las ciencias físicas y químicas. No es de extrañar, por lo tanto, que el tema estuviera presente en el trasfondo de muchas investigaciones llevadas a cabo en la época. La posibilidad de llegar mediante reacciones nucleares a elementos de número atómico superior al del uranio ($Z=92$), el último elemento natural, tenía un atractivo considerable.

En aquel entonces se creía que el torio pertenecía al grupo 4b de la tabla periódica, el protoactinio al grupo 5b y el uranio al 6b. Se suponía por lo tanto que los transuránicos seguirían la clasificación normal de la tabla periódica o sea que el elemento de $Z=93$ sería un homólogo del renio, el de $Z=94$ un homólogo del osmio, etc. De ahí los nombres de eka-renio, eka-osmio, eka-iridio que se dieron en un comienzo a los supuestos transuránicos, producidos en las experiencias de Fermi en 1934.

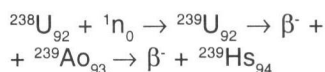
En cambio, sabemos ahora que los elementos comprendidos entre el actinio ($Z=89$) y el laurencio ($Z=103$) forman una familia, denominada de los *actínidos*, con características químicas comunes, a semejanza de los lantánidos.



Foto 3.— Edificio del Kaiser Wilhelm Institut für Chemie, en la Thielallee de Berlín-Dahlem, donde se efectuó el descubrimiento de la fisión nuclear.

(símbolo Hs) o eka-osmio*. Se suponía que el uranio tenía un comportamiento similar al que se había observado en los otros elementos cuando eran sometidos a la irradiación

con neutrones, o sea que se producía una reacción (n, γ) y el nucleido formado se desintegraba por emisión β^- en otro radionucleido, que emitía también partículas β^- :



Inmediatamente algunos químicos formularon dudas sobre la interpretación del grupo de Fermi. Ida Noddack

en 1934 y Grosse y Agruss en 1935 objetaron las separaciones indicadas, que, con el procedimiento utilizado, muchos elementos más livianos que el plomo podían coprecipitar con MnO_2 (Noddack) y que el MnO_2 , en condiciones de las experiencias de Fermi, arrastra al protactinio (Grosse y Agruss). I. Noddack (descubridor del renio en 1925 junto con su marido Walter Noddack) puntualizó esto para concluir con seguridad que no había formado el elemento 93 sino que habían efectuado separaciones químicas sistemáticas que permitieran descartar todos los elementos conocidos.

Después de haber hecho esta advertencia, la química I. Noddack incursionando en la física con la ayuda de un no especialista, escribió una frase profética que pasará prácticamente inadvertida: "Es posible imaginar que irradiando con neutrones los núcleos más pesados, éstos se desintegren en fragmentos más livianos; estos fragmentos podrían ser isótopos de elementos conocidos pero no vecinos del elemento irradiado".

Cabe mencionar que Ida Noddack parece haber tenido otra aproximación a la fisión. En 1925 habría descubierto, obviamente sin ni siquiera sospecharlo, el primer producto de la fisión. En los espectros de rayos gamma detectó las líneas K_α y K_β de un elemento de la familia del manganeso con $Z = 43$, que designó con el nombre de masurio (símbolo Ma). En esa época se dudó seriamente de la existencia de este elemento. Un análisis retrospectivo de las evidencias publicadas parecía demostrar que Noddack había encontrado un isótopo del tecnecio (nombre actual del elemento 43), el ^{99}Tc de 2,1 años, formado en la fisión espontánea del uranio contenido en los minerales de los cuales había separado el masurio². (Este análisis fue proyectado posteriormente por P. Kuroda, quien sostuvo que el ^{99}Tc es indetectable en las concentraciones en las cuales había trabajado Noddack y con el equipamiento disponible en la época³. Seguía así, algunos decenios después, el des

* De acuerdo con la costumbre de la época los dos nombres hacen referencia al país donde fue realizado el descubrimiento. Ausonia y Hesperia son dos sinónimos poéticos de Italia. La similitud de las propiedades químicas de los isótopos encontrados con las del renio y del osmio, hizo que se los nombrara eka-renio y eka-osmio.

	1a	2a	3a	4a	5a	6a	7a	8a			1b	2b	3b	4b	5b	6b	7b	8b
1																	H 1	He 2
2	Li 3	Be 4											B 5	C 6	N 7	O 8	F 9	Ne 10
3	Na 11	Mg 12	Al 13											Si 14	P 15	S 16	Cl 17	Ar 18
4	K 19	Ca 20	Sc 21	Ti 22	V 23	Cr 24	Mn 25	Fe 26	Co 27	Ni 28	Cu 29	Zn 30	Ga 31	Ge 32	As 33	Se 34	Br 35	Kr 36
5	Rb 37	Sr 38	Y 39	Zr 40	Nb 41	Mo 42		Ru 44	Rh 45	Pd 46	Ag 47	Cd 48	In 49	Sn 50	Sb 51	Te 52	I 53	Xe 54
6	Cs 55	Ba 56	ΣLa 57-71	Hf 72	Ta 73	W 74	Re 75	Os 76	Ir 77	Pt 78	Au 79	Hg 80	Tl 81	Pb 82	Bi 83	Po 84		Rn 86
7		Ra 88	Ac 89	Th 90	Pa 91	U 92												

Lantánidos (ΣLa)	La 57	Ce 58	Pr 59	Nd 60		Sm 62	Eu 63	Gd 64	Tb 65	Dy 66	Ho 67	Er 68	Tm 69	Yb 70	Lu 71
-------------------	----------	----------	----------	----------	-------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

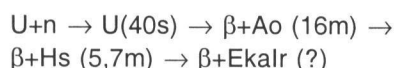
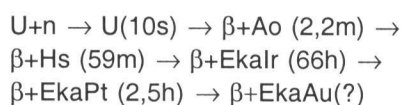
Tabla periódica de los elementos según Werner, en la versión utilizada hacia 1934. No habían sido descubiertos el prometio (61), el astato (85) y el francio (87). El elemento 43, cuyo descubrimiento no estaba confirmado, había sido anunciado en 1925 y había recibido el nombre provisional de masurio. Finalmente se lo logró producir en 1937, a partir de reacciones nucleares y se lo denominó tecnecio. Cabe observar que, a diferencia de lo que se conoce actualmente, el Th, el Pa y el U se consideran homólogos del Hf, Ta y W en lugar de formar parte de la familia de los actínidos, a semejanza de los lantánidos. No haber considerado la posibilidad de la existencia de los actínidos ha sido una de las causas principales de la demora en el descubrimiento de la fisión.

polémico de la obra de esta química alemana).

Pero volvamos ahora a los resultados de la irradiación del uranio con neutrones que seguían intrigando a los principales investigadores. Hahn, Meitner y Strassmann estudiaron en forma sistemática los "transuránicos" de Fermi, lograron determinar o precisar los períodos de semidesintegración de varios de los isótopos formados e intentaron un esquema de ordenamiento de estos "transuránicos". El procedimiento químico utilizado era esencialmente el que se muestra en la Figura 1.

Sobre la base de los resultados obtenidos sugirieron el siguiente es-

quema para explicar las actividades que encontraron:



Este esquema, desde el primer momento, pareció algo forzado. En efecto, por una parte implicaba la formación muy improbable de varios isómeros del uranio 239 (puesto que se suponía que la reacción se efectuaba sobre el ^{238}U , el isótopo más

abundante del uranio natural) y una sucesión, igualmente improbable, de cinco desintegraciones beta para llegar al elemento 97.

Por otra parte las propiedades químicas de estos "transuránicos" estaban lejos de corresponder a lo que se había previsto. En conjunto, tanto desde el punto de vista químico como desde el punto de vista físico, la interpretación resultó poco convincente y las investigaciones siguieron con todo ahínco.

Contemporáneamente a los trabajos del grupo de Hahn, en París P. Savitch e I. Curie habían encontrado una actividad de un período de semidesintegración de 3,5 horas. En

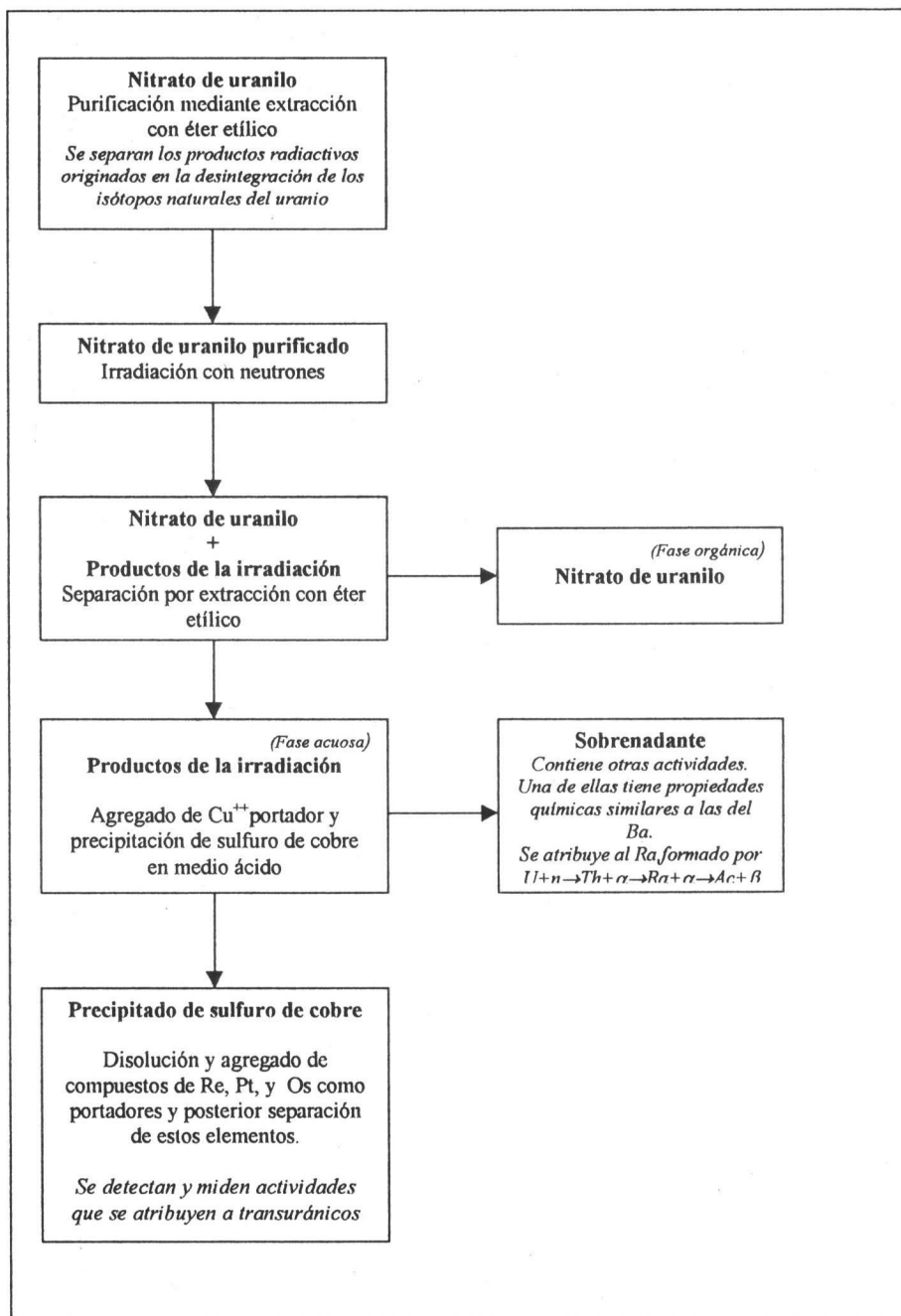


Fig. 1.— Separaciones químicas utilizadas en 1934 por Hahn, Meitner y Strassmann para identificar los supuestos transuránicos formados en la irradiación del uranio con neutrones.

un primer momento la atribuyeron al actinio, puesto que seguía en su química a las tierras raras. Posteriormente descartaron esta hipótesis cuando lograron separar del actinio a la misteriosa actividad y volvieron a postular la existencia de un transuránico de propiedades químicas "muy diferentes" a las de los otros "transuránicos".

Dice F. Joliot-Curie: "Como, en el espíritu de los autores, se trataba de

transuránicos y puesto que estos cuerpos no existen en la naturaleza, I. Curie y F. Savitch pensaron que acaso en esa región desconocida los elementos poseían propiedades especiales"⁴.

Hahn y Strassmann, ahora sin la valiosa colaboración directa de Lise Meitner quien a causa de las persecuciones raciales había tenido que huir de Alemania el 13 de julio de

1938, realizaron un minucioso estudio químico de las fracciones que su origen habían sido atribuidas al actinio. El trabajo fue enviado a *Die Naturwissenschaften* el 22 de diciembre y fue publicado en el número del 1 de enero de 1939⁵. En él se describen las separaciones químicas y la desintegración de cuatro cadenas de desintegración, que los autores describen como:

"RaI" (?) (< 1m) → β + Ac I (< 30m) → β + Th (?)
"RaII" (14±2m) → β + AcII (≈ 3h) → β + Th (?)
"RaIII" (86±6m) → β + AcIII (≈ 10 días) → β + Th (?)
"RaIV" (250-300h) → β + AcIV (≈ 10 días) → β + Th (?)

Sin embargo, en el mismo trabajo, describen algunas experiencias ("...que publicamos más bien indolosos, dado lo sorprendente de sus resultados", dicen sus autores). Lo serían la clave del descubrimiento de la fisión. Al querer separar por destilación fraccionada el supuesto radio del bario inactivo usado como portador, encontraron que la actividad específica de los preparados del radio se mantenía constante en todas las fracciones. Ello quería decir que la actividad atribuida al radio era en realidad a un isótopo del radio. La conclusión implícita es revolucionaria: al absorber un neutrón el núcleo de uranio se divide en fragmentos de peso atómico muy inferior al peso atómico del uranio.

Al final del mismo artículo sugieren que los "transuránicos" que se preparaban se pensó que serían los homologos superiores del Re, Os, Ir, que podrían ser en cambio sus homólogos inferiores Ma(Tc), Ru, Rh,...

Tan revolucionaria era la hipótesis implícita que concluyen: "Como químicos debíamos reformular en realidad el esquema indicado más allá de lo que se había hecho en función de las experiencias que hemos descrito brevemente y que en lugar de Ra, Ac y Th los llamamos Ba, La y Ce. Como "químicos nucleares" en cierta medida próximos a la física, todavía no podemos argüir

paso que contradice todas las experiencias de la física nuclear conocidas hasta la fecha. También podría haber ocurrido que una serie de años coincidencias hubiera falsado nuestros resultados" *.

Lise Meitner, desde su exilio en Suecia, mantenía contacto epistolar con Otto Hahn y había sido informada de los resultados del grupo de Berlín sobre su publicación. Durante las vacaciones de 1938, pasadas con Otto Hahn en la pequeña ciudad sueca Kungälv, cerca de Göteborg, análoga a su sobrino, el físico Otto R. Frisch, las experiencias de Hahn y los datos esbozaron la primera teoría de la fisión. De acuerdo con el modelo de Niels Bohr, visualizaron al núcleo de uranio como una gota líquida inestable que se mantiene unida por una tensión superficial y que, ante la mínima excitación, se divide en dos partes con la liberación de una cantidad muy importante de energía. Lise Meitner escribe a Otto Hahn el 3 de enero de 1939 comentando sus trabajos y se declara ahora segura de que el uranio bombardeado con neutrones se divide en fragmentos y que el bario es uno de ellos⁶.

Lise Meitner y Frisch el 16 de enero de 1939 envían a *Nature* el manuscrito en el que se propone la primera explicación teórica de los hallazgos de Hahn y Strassmann⁷.

Dos semanas después, a fines de enero de 1939, Hahn y Strassmann mandan a *Die Naturwissenschaften* un nuevo trabajo⁸, confirmatorio de la formación de isótopos del bario en la irradiación del uranio y del torio con neutrones y de la existencia de otros fragmentos radiactivos producidos en la participación del uranio inducida por los neutrones.

* "Als Chemiker mußten wir aus den kurz dargelegten Versuchen das oben gebrachte Schema eigentlich umbenennen und statt Ra, Ac, Th die Symbole Ba, La, Ce einsetzen. Als der Physik in gewisser Weise nahestehende 'Kernchemiker' können wir uns zu diesem, allen bisherigen Erfahrungen der Kernphysik widersprechenden Sprung noch nicht entschließen. Es könnten doch noch vielleicht eine Reihe seltsamer Zufälle unsere Ergebnisse vorgetäuscht haben".

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

27. Jahrgang

10. Februar 1939

Heft 6

Nachweis der Entstehung aktiver Bariumisotope aus Uran und Thorium durch Neutronenbestrahlung; Nachweis weiterer aktiver Bruchstücke bei der Uranspaltung¹.

Von OTTO HAHN und FRITZ STRASSMANN, Berlin-Dahlem

Zusammenfassung.

1. Die Entstehung von Bariumisotopen aus Uran wurde endgültig bewiesen.
2. Auch für das Thorium wurde die Bildung von Bariumisotopen festgestellt.
3. Über die Atomgewichte einiger der entstehenden Bariumisotope wurden Aussagen gemacht.
4. Augenscheinlich sind einige der Bariumisotope aus Thorium identisch mit denen aus Uran.
5. Unserer Meinung nach behalten die „Transurane“ ihre ihnen bisher zugeschriebene Stellung bei.
6. Als zweite Bruchstückgruppe wurden zunächst Strontium und Yttrium festgestellt.
7. Durch eine geeignete Versuchsanordnung wurde auch das Auftreten eines Edelgases bewiesen, das seinerseits ein Alkalimetall nachbildet. Eine Entscheidung, ob es sich um Xenon-Caesium oder um Krypton-Rubidium handelt, konnte noch nicht getroffen werden. In jedem dieser Fälle würden sich dann die nachgewiesenen Folgeprodukte Barium-Lanthan usw., bzw. Strontium-Yttrium usw. daraus bilden.

Daß die im Vorstehenden beschriebenen, zahlreichen neuen Umwandlungsprodukte sich in verhältnismäßig kurzer Zeit mit — wie wir glauben — erheblicher Sicherheit feststellen ließen, war nur möglich durch die Erfahrung, die wir bei den früheren, in Gemeinschaft mit L. MEITNER durchgeführten systematischen Versuchen über die Transurane und die Thoriumwandlungsprodukte sammeln konnten.

Fig. 2.— Segunda publicación de Hahn y Strassmann sobre la fisión del uranio. Fue enviada a la revista Die Naturwissenschaften el 28 de enero de 1938 y en ella se recapitulan los resultados de sus investigaciones y se menciona explícitamente la escisión del uranio, "Uranspaltung".

Llama la atención el cambio de actitud, diría casi el cambio de ánimo, de los autores que se produjo en poco más de un mes, entre el 22 de diciembre de 1938 fecha del primer

artículo, y el 28 de enero de 1939 fecha del segundo (Fig. 2). En la primera comunicación, Hahn y Strassmann, a pesar de estar seguros de sus experiencias químicas, se mues-

Fisión

Es una reacción nuclear, por lo general producida por la captura de un neutrón, en la que un núcleo pesado se divide en dos fragmentos de tamaño aproximadamente igual. Está acompañada por la emisión de neutrones, de radiaciones nucleares y de una importante cantidad de energía. En condiciones apropiadas, los neutrones producidos en la fisión pueden dar lugar a la fisión de nuevos núcleos y se establece una reacción en cadena.

Los fragmentos (los llamados *productos de fisión*) producidos en la fisión del ^{235}U con neutrones térmicos son isótopos de los elementos comprendidos entre el cinc ($Z=30$) y el terbio ($Z=65$).

tran asustados por las implicaciones de su descubrimiento, que los enfrentaba a las teorías físicas en boga. Más aún, Hahn confesaba a sus íntimos⁹ haber pasado en 1938 la peor Navidad de su vida por el temor de haber hecho el ridículo con el trabajo mandado a *Die Naturwissenschaften* pocos días antes. El segundo artículo, en cambio, en su mismo título menciona la palabra "*Uranspaltung*" (escisión del uranio), que en el primero es evitada cuidadosamente, y está libre de las dudas que permeaban al anterior. A este cambio no debe haber sido ajena la correspondencia con Lise Meitner, la física del grupo capaz de sugerir una explicación del fenómeno e infundir confianza en sus antiguos colaboradores.

De todos modos, a partir de ese momento el descubrimiento de la fragmentación del uranio en dos partes como consecuencia de la absorción de un neutrón fue un hecho aceptado. Meitner y Frisch en su nota a *Nature* bautizaron el fenómeno, en inglés, con el nombre de "*fission*". Este había sido sugerido a Frisch en Copenhague por el biólogo norteamericano W. A. Arnold, por analogía con el proceso de división del núcleo de las células de los organismos vivos. Arnold en aquella época colaboraba con von Hevesy, el científico húngaro que se había refugiado en el laboratorio de N. Bohr, y había oído la explicación que había hecho Frisch del fenómeno descubierto por Hahn y Strassmann.

De ahí en más se produjo en los principales laboratorios del mundo una verdadera "reacción en cadena" de investigaciones. Estas llevaron en

muy poco tiempo al conocimiento teórico y experimental de la fisión y al descubrimiento de los verdaderos transuránicos. Contemporáneamente, con la presión impuesta por la situación bélica, se desarrollaron las aplicaciones tecnológicas de la fisión, llegando en un tiempo asombrosamente breve a la construcción del primer reactor nuclear (1942) y a la fabricación de la bomba atómica (1945).

Mirando en perspectiva, lo que no deja de asombrar en todo el proceso del descubrimiento de la fisión es el largo tiempo transcurrido entre la primera observación experimental del fenómeno (1934) y su interpretación correcta (1938-39), a pesar de que muchos de los mejores intelectos científicos de la época estaban afanosamente abocados al problema. Parece ésta una muestra cabal de la dificultad que encuentra el ser humano para salir de los carriles convencionales y emprender caminos nuevos e innovadores.

En el ambiente de la época pesaba mucho el interés en llenar los huecos de la tabla periódica y evidentemente la búsqueda de nuevos elementos ejercía una atracción particular. Eran todavía recientes los descubrimientos del protactinio por Hahn y Meitner y Soddy y Cranston (1917), del hafnio por von Hevesy y Coster (1923) y del renio por Walter e Ida Noddack y Berg (1925). Además, las reacciones nucleares habían permitido a Perrier y Segré producir el tecnecio en 1937. No es de extrañar entonces que en este ambiente, la posibilidad de encontrar nuevos elementos polarizara en gran medida la atención de los investigadores.

Hay que tener en cuenta también que tanto los físicos como los químicos estaban bajo la influencia de conocimientos previos que les hacían difícil imaginar una explicación adecuada de lo que hallaban experimentalmente. Para los primeros, pensar en partículas de energía muy baja podrían producir reacciones que daban lugar a la partición del núcleo era concebible de acuerdo con lo conocido hasta el momento. Para los químicos, por otra parte, era difícil imaginar que los transuránicos próximos no fueran homólogos del Re, Os, Ir y que representaran una anomalía en la tabla periódica a semejanza de los lantánidos. Ello hizo que durante todo ese tiempo se tomaran por transuránicos los que en efecto eran homólogos inferiores del renio, osmio e iridio.

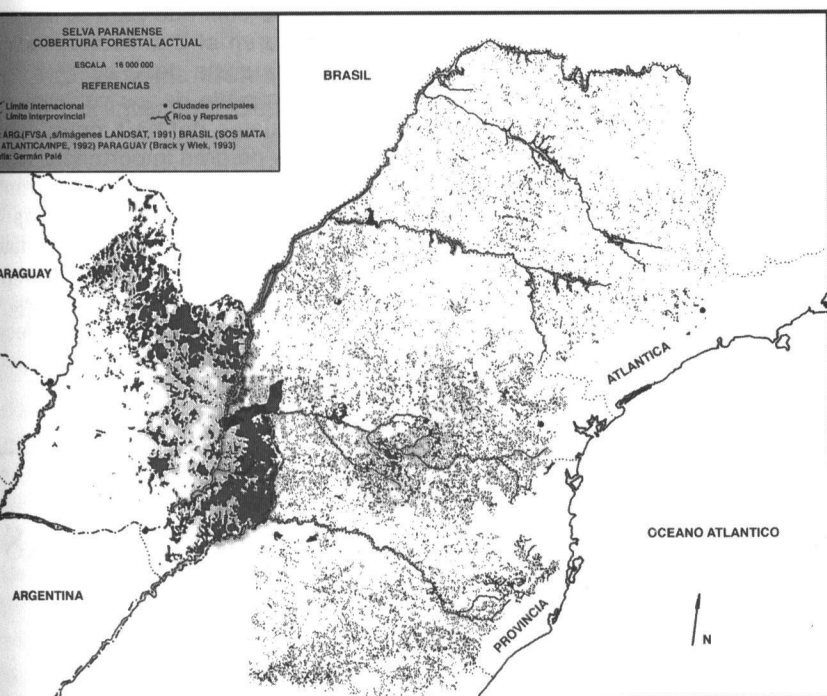
A pesar de todo, este hecho resulta particularmente extraño puesto que Bohr¹⁰, en 1922, había previsto la posibilidad de que la distribución de los electrones en las capas atómicas pudiera llevar, en el séptimo período de la tabla de los elementos, a una "anomalía horizontal" semejante a la que sucede con las "tierras raras" en el sexto período de la tabla. De haberse tenido esto en cuenta, quizás el camino hacia el descubrimiento de la fisión hubiera sido más breve.

BIBLIOGRAFIA

1. Noddack I., *Z. für angewandte Chemie* 47, 1934, 653.
2. Van Assche P., *Nuclear Europe* 6, 1988, 24.
3. Kuroda P.K., *Nuclear Physics*, AN 1989, 178.
4. Joliot-Curie F., *La désintégration atomique*, (trad. esp.), Edic. Siglo Veintiuno, Buenos Aires, 1948, p. 54.
5. Hahn O. y Strassmann F., *Naturwissenschaften*, 27 1939, 11.
6. Lewin Sime R., *J. Chem. Educ.* 1989, 373.
7. Meitner L. y Frisch O.R., *Nature*, 1939, 239.
8. Hahn O. y Strassmann F., *Naturwissenschaften* 27, 1939, 89.
9. Seelmann-Eggebert W., comunicación al autor, 1954.
10. Bohr N., *Z. Physik* 9, 1922, 1.

LA IMPORTANCIA DE PRESERVAR LOS RECURSOS GENÉTICOS FORESTALES AUTÓCTONOS: UNA URGENCIA NACIONAL

por **Juan H. Hunziker***



Nuestras selvas subtropicales del este del país contaban con numerosas especies forestales de gran valor, entre ellas: cedro, petiribí, incienso, lapacho, ibiraró, palo trébol, quina, tipa, palo colorado, etc., muchas de las cuales han sufrido una abusiva explotación. Algunos de estos árboles crecen en la latitud de Buenos Aires y no han conseguido dar singular atractivo a algunas de las avenidas y parques de

Buenos Aires y alrededores por la belleza de sus flores (jacarandá, lapacho, ibirá-pitá, etc.) o su porte majestuoso (tipa, timbó).

Las selvas y bosques de Misiones, Salta, Jujuy, Chaco y Formosa están siendo devastados rápidamente. Imágenes satelitales recientes muestran a Misiones como la última reserva de selva paranaense. Zonas aledañas de Brasil y Paraguay revelan una devastación casi total de la selva subtropical y su reemplazo con cultivos de soja y maíz. Taladores furtivos provenientes de Brasil penetran en la reserva de Yabotí y extraen los árboles más valiosos.

Para no perder irreversiblemente estos vastos recursos genéticos forestales es necesario recoger semillas de árboles selectos antes de que sea tarde. En general, los que talan los árboles escogen los de mejor fuste y vigor y dejan los árboles débiles, mal formados y enfermos. Antes la labor del hachero era lenta; ahora la depredación con las motosierras es muy rápida. También, el hurto de los rollizos.

Entre otras las siguientes especies son de especial interés: pino Paraná (*Araucaria angustifolia*), cedro misionero (*Cedrela fissilis*), tarco o jacarandá (*Jacaranda mimosifolia*), tipa (*Tipuana tipu*), timbó u oreja de negro (*Enterolobium contortisiliquum*), peteribí (*Cordia trichotoma*), guatambú (*Balfourodendron riedelianum*), quina (*Myroxylon peruiferum*), incienso (*Myrcarpus frondosus*), algarrobos (*Prosopis alba*, *Prosopis nigra*), ibirá-pitá (*Peltophorum dubium*), ibiraró (*Pterogyne nitens*), cancharana (*Cabralea canjerana*), lapacho negro (*Tabebuia heptaphylla*), quebracho colorado (*Schinopsis balansae*, *S. quebracho-colorado*), pino del cerro (*Podocarpus parlatorei*), nogal criollo (*Juglans australis*), palo amarillo (*Phyllostylon rhamnoides*), viraró (*Ruprechtia laxiflora*), laurel canela (*Nectandra lanceolata*), horco cebil (*Parapiptadenia excelsa*), cebil colorado o curupay (*Anadenanthera colubrina* var. *cebil*), anchico colorado (*Parapiptadenia rigida*), tatané (*Chloroleucon tenuiflorum*), guayacán (*Caesalpinia paraguariensis*), espina de corona (*Gleditsia amorphoides*), alecrín (*Holocalyx balansae*), palo trébol o robe del país (*Amburana caerensis*),

* El Dr. Juan H. Hunziker es Profesor de Genética en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (UBA) e Investigador Superior del CONICET

sotacaballo (*Luehea divaricata*), palo rosa (*Aspidosperma polyneuron*), guayaibí (*Patagonula americana*), palo blanco (*Calycophyllum multiflorum*), ibirá-peré (*Apuleia leiocarpa*), etc.

Los valiosos recursos forestales podrían ser preservados y evaluados en cuanto a la posibilidad de su futuro cultivo en acciones coordinadas por un Centro Nacional de Conservación de Recursos Forestales. Debe evitarse que desaparezca la diversidad genética de estas especies para que la selección sea efectiva y los futuros cultivos tengan éxito. La creación de este Centro debería figurar en las prioridades urgentes del GACTEC (Gabinete Científico-Tecnológico) para el Plan Plurianual de Ciencia y Tecnología 1998-2000.

Es de lamentar que en la última década se haya eliminado el Instituto Forestal Nacional (IFONA) que provenía de la antigua Administración Nacional de Bosques. Estas entidades eran vitales para la conservación, manejo y desarrollo de los recursos forestales del país y sus valiosos archivos, xiloteca y colecciones de preparados yacen hoy día distribuidos en varias instituciones.

Este trabajo de salvaguardar la variación genética de las principales es-

pecies forestales autóctonas valiosas debe realizarse urgentemente. Al ritmo actual de devastación de los bosques naturales tal vez dentro de 10-15 años sea tarde.

La Secretaría de Recursos Naturales y Medio Ambiente, la Secretaría de Agricultura y Ganadería, la Secretaría de Ciencia y Técnica, el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, las Universidades y los gobiernos provinciales deberían actuar apoyando la acción coordinada por dicho Centro Nacional, con el objeto inicial de preservar la variabilidad genética de las especies más valiosas y más amenazadas.

Las acciones más importantes deberían ser:

- 1) Creación de nuevas reservas intangibles en lugares no demasiado explotados y vigilancia de las ya establecidas para evitar depredación clandestina.

- 2) Recolección de muestras de semillas de árboles selectos.

- 3) Mantenimiento de parte de las semillas en cámaras especiales a baja temperatura y humedad.

- 4) Cultivos *ex situ* en jardines botánicos actuales (Buenos Aires, Cas-

telar, Paraná, etc.) y en viveros especiales.

- 5) Ensayos de cultivos de ciertas especies promisorias en las provincias del centro y norte.

- 6) Intercambio de semillas forestales autóctonas con otros países Mercosur.

Una acción similar debería abarcar los valiosos recursos madereros del país, asegurando si hay explotación que ésta sea sustentable para permitir la regeneración de los bosques. La explotación debe ser muy controlada para evitar la devastación por parte de empresas cuyos intereses no siempre favorecen al país, como ocurrió con la explotación abusiva de los bosques quebracho colorado para la extracción del tanino en el Chaco santafesino.

A toda costa debe evitarse la pérdida irreversible de los valiosos recursos forestales del país cuya supervivencia es de gran importancia, no sólo por su valor maderero sino también porque químicamente muchos son poco conocidos y pueden tener futuros usos farmacéuticos, industriales, etc. Cuando se decida estudiarlos bajo ese punto de vista tal vez ya hayan desaparecido o carezcan de variación genética.

PREMIOS DE LA ACADEMIA NACIONAL DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES AÑO 1998

El 13 de Diciembre del corriente año. La Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales hizo entrega de los Premios "Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales", a los científicos:

Premio "Enzo R. Gentile" en Matemática, a la Dra. Eleonor O. Harboure.

Premio "Juan José Giambiagi" en Física Teórica, al Dr. Jorge A. Zgrablich.

Premio "Carlos Varsavsky" en Astronomía, a la Dra. Virpi Niemela.

Premio "José Luis Delpini" en Ingeniería Estructural, al Ing. Raúl D. Bertero.

Premio "Venancio Deulofeu" en Química y Bioquímica de Hidratos de Carbono, al Dr. Armando J. Parodi.

Premio "Raúl A. Ringuelet" en Zoología, al Dr. Demetrio Boltovskoy.

En el mencionado acto también se entregaron los premios siguientes:

Premio "Ernesto E. Galloni" en Fisiocoquímica de Sólidos (para investigadores jóvenes), al Dr. Gustavo D. Barrera. Doctor en Ciencias Químicas (FCEyN, UBA, 1992). Sus contribuciones más importantes y originales las ha realizado en las áreas de simulación y modelado de propiedades de sólidos. Ha publicado más de 20 trabajos en revistas internacionales de primera línea. Jefe de Trabajos Prácticos (Fac. de Ciencias Exactas y Naturales UBA). Investigador Asistente (CONICET).

Premio "Bernardo A. Houssay" en Fisiología, al Dr. Daniel P. Cardinali. Doctor en Ciencias Biológicas (Univ. del Salvador, 1972). Se destaca por sus contribuciones a la fisiología y farmacología de la glándula pineal y de su señal cronobiológica, la melatonina. En tal sentido el Journal of Pineal Research lo incluyó entre los tres autores de mayor producción científica sobre melatonina y la glándula pineal entre 1966 y 1994. Profesor Titular (Fac. de Medicina UBA). Investigador Superior (CONICET). Doctor "honoris causa" en Medicina (Universidad Complutense de Madrid y de Salamanca). Académico Correspondiente (Real Academia de Medicina de España).

ASOCIACION ARGENTINA PARA EL PROGRESO DE LAS CIENCIAS ASAMBLEA ANUAL ORDINARIA

El día 16 de julio próximo pasado, la Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias realizó su Asamblea Anual Ordinaria para considerar los Estados Contables, la Memoria y el Inventario General correspondientes al ejercicio concluido el 28 de febrero del corriente año, y la designación del Colegiado Directivo para el período 1998-2001.

El Acto se inició con un homenaje a los Miembros fallecidos: Dres. Alberto C. Taquini y Alberto Pedro Calderón e Ing. Orlando Villamayor, cuyas destacadas actuaciones científicas fueron recordadas por los Dres. Nidia Basso, Susana E. Trione y Carlos Segovia Fernández, respectivamente.

Aprobados los Estados Contables, la Memoria y el Inventario General, se procedió a la designación del Colegiado Directivo, el que quedó integrado como sigue:

Presidente: Dr. Alberto Baldi, Vicepresidente Dr. Marcelo Dankert, Secretario Dr. Máximo Barón, Tesorera Dra. Clara K. Fishman, Protesorero Dr. Horacio H. Camacho, Miembros Titulares Dres. Nidia Basso, Eduardo Charreau, Augusto García, Eduardo L. Palma, Sadi U. Rifé, Carlos A. Rinaldi, Carlos Segovia Fernández, Alberto C. Taquini (h), Susana E. Trione, Marcelo Vernengo y las Sociedades Científicas que participan del Colegiado Directivo: Sociedad Argentina de Biología, Sociedad Argentina de Farmacología Experimental, Sociedad

Argentina de Investigaciones Bioquímica y Biología Molecular, Sociedad Argentina de Investigaciones Clínicas, Unión Matemática Argentina.

A continuación se reproducen las expresiones recordatorias de los Miembros fallecidos:

DOCTOR ALBERTO C. TAQUINI

Es un honor, no exento de pena, referirme, en este acto, a la trayectoria del Prof. Dr. Alberto C. Taquini, quien falleció el 4 de marzo de 1998 luego de una breve enfermedad a los 92 años.

Había nacido en Buenos Aires, el 6 de diciembre de 1905. Fue uno de los fundadores de la moderna medicina científica argentina, junto a Bernardo Houssay, Eduardo Braun Menéndez, Alfredo Lanari, Enrique Del Castillo y Marcelo Royer.

El Dr. Taquini, con el Dr. Houssay y los Dres. Luis Federico Leloir, Eduardo Braun Menéndez y Juan Carlos Fasciolo describieron, por primera vez, la naturaleza enzimática del sistema renina-angiotensina, la existencia misma de la angiotensina y su vinculación con el desarrollo de la hipertensión arterial.

A través de los años se demostró la importancia fisiológica y fisiopatológica del sistema renina-angiotensina y su conexión con múltiples procesos de regulación tanto en el organismo normal como en situaciones patológicas.

El Dr. Taquini fue profesor titular de Clínica Médica (1952-1956) y de Fisiología (1961-1970) en la Facultad de Medicina de la Universidad de Buenos Aires. Además fue una personalidad relevante en investigación científica. Sus hallazgos originales cubren las áreas de fisiología, cardiología y clínica médica. Formó un número muy significativo de investigadores y docentes universitarios altamente calificados. Fue, sin lugar a dudas, un referente indiscutido de las ciencias médicas, dentro y fuera de nuestro país.

Durante más de medio siglo, entre 1942 y la actualidad ejerció la dirección del Instituto de Investigaciones Cardiológicas de la Facultad de Medicina de la Universidad de Buenos Aires. Fue uno de los organizadores y primeros profesores con dedicación exclusiva en la Universidad Argentina.

Recibió casi un centenar de designaciones honoríficas nacionales y extranjeras. Entre ellas los Doctorados "Honoris Causa" de las Universidades de Córdoba y de Cuyo. Fue designado "Miembro Honorario" del American College of Physicians, de la American Physiological Society, de la American Heart Association, de la Sociedad de Cardiología de Bélgica, de la Sociedad Francesa de Cardiología y de la International Academy of Medicine con sede en Estados Unidos de América.

Fue miembro de número de la Academia Nacional de Medicina, primer Investigador Superior del CONICET, Profesor Emérito de la Universidad de Buenos Aires y profesor visitante de las Universidades de California, de Stanford, de Columbia, de Michigan y de Cornell en los Estados Unidos; de Toronto en Canadá, de Oxford en Gran Bretaña, de Milán en Italia, de San Marcos en Perú y de Chile en Chile.

Fue el primer Secretario de Estado en Ciencia y Técnica de la Argentina.

Actuó como Presidente de la Sociedad Internacional de Cardiología (1954-1962), del Consejo Internacional de Hipertensión (1954-1968), durante dos períodos de la Sociedad Argentina de Cardiología, de la Sociedad Argentina de Investigación Clínica (1957-1958), de la Asociación Argentina para el Progreso de la Ciencia (1967-1987) y de la Fundación Bernardo Houssay (1986-1992).

Para terminar quiero simplemente referirme a aquello que más me impactó durante mi prolongado compartir con el Prof. Taquini. Disfrutó de una vida muy útil y muy larga, sin embargo, su principal característica es que nunca llegó a viejo. Fue un hombre muy añoso, de edad muy avanzada, pero nunca fue viejo. Trabajó en el ININCA, condujo su automóvil y jugó al golf hasta que la enfermedad se lo impidió. Mantuvo todas sus condiciones físicas y mentales intactas. Fue un ejemplo de disciplina y contracción al trabajo. En síntesis, un personaje único y singular. Aquellos que lo acompañamos por tantos años nunca lo olvidaremos

Dra. Nidia Basso

DOCTOR ALBERTO PEDRO CALDERÓN

Hablar de Alberto Pedro Calderón es hablar de un hito en la historia de la Matemática.

Es por eso, que la muerte de Calderón ha matado un poco a todos los científicos del mundo.

Argentino, mendocino, nacido en 1920, acaba de dejarnos el 16 de abril de 1998.

Entre otras cosas, Calderón fue Profesor Honorario de la Universidad de Buenos Aires, miembro de la Academia Nacional de Ciencias Exactas y Naturales de la Argentina, miembro del Institute of Advanced Study y Profesor del Massachusetts Institute of Technology de los Estados Unidos de Norteamérica.

Profesor de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de Buenos Aires, donde fue un real Maestro, dirigiendo tesis y dictando cursos.

Al nombrar a la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, no puedo dejar de mencionar al querido y, diariamente, recordado matemático argentino Alberto González Domínguez, miembro de la Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias y Académico de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, maestro de Calderón, quien siempre lo reconoció como tal, y que para González Domínguez fuera su máximo orgullo como hacedor de matemáticos.

Calderón, junto a Antoni Zygmund creó la después llamada "Escuela de Análisis de Calderón-Zygmund".

Actualmente, resultados trascendentes de la física cuántica, la ingeniería de recepción de imágenes y las telecomunicaciones son consecuencias de los resultados teóricos de Calderón y Zygmund.

Sus alumnos, entre otros, el más importante discípulo argentino de Calderón, Carlos Segovia Fernández, pueden dar fe de ello.

El matemático Peter Lax dijo: "La potencia, simplicidad y naturalidad de su método fueron inmediatamente reconocidos, y revolucionó el campo entero de las ecuaciones en deriva-

das parciales, como no lo había hecho ninguna otra innovación introducida en ese campo, salvo quizás, la teoría de las distribuciones cuya profundidad, sin embargo, no es comparable con la de los métodos de Calderón".

Mencionaré sólo algunos de sus premios y honores: La "American Academy of Arts and Sciences" incorporó en 1957. Recibió el "Bôcher memorial Prize" de la American Mathematical Society, en 1979, premio "Consagración Nacional en Ciencias", Argentina, 1985.

En 1989, la American Mathematical Society lo honró con el premio Steele. En ese mismo año, el Instituto Technion de Israel lo hizo "Doctor Honoris Causa" y también en 1989 recibió, en Jerusalén, el Premio Weizmann por su trayectoria en Matemática.

Obtuvo también el Premio ProE de Santa Fe, Argentina, en 1984 y el Premio Konex de la Argentina por dos oportunidades.

En 1991, el Presidente de los Estados Unidos de Norteamérica le otorgó la Medalla Nacional que es el premio más importante dado a un científico de ese país. Dijo Bush en esa oportunidad, transcribo textualmente: "El premio se le ha otorgado por su fundamental trabajo sobre operadores integrales que llevó a la aplicación a importantes problemas de la teoría de las ecuaciones en derivadas parciales".

Calderón fue, además, profesor visitante de universidades de todo el mundo; integró la primera delegación de intercambio de matemáticos con la ex-Unión Soviética.

La necrológica del diario La Nación, de la Argentina, expresó, con muy justa razón, lo siguiente: "El aporte a la matemática de este hombre es un orgullo para la Argentina".

Decimos nosotros: su señorío, su inteligencia, su hombría de bien, su calidez y su peculiar talento para resolver problemas no científicos con

por ejemplo, arreglos de lavarropas, enceradoras, teléfonos, relojes y afinación de pianos, hicieron de Calderón, para decirlo en términos matemáticos, un punto singular.

Para consolarnos de su ausencia, diré junto a James Joyce: "Los muertos no mueren, sólo cambian de hábitat".

A él, Calderón, nuestro más respetuoso y admirado recuerdo.

Dra. Susana Elena Trione

**ING. ORLANDO EUGENIO
VILLAMAYOR**

Falleció en París el 22 de febrero de 1998. Comenzó su carrera académica en la Universidad de Cuyo en 1953 y desempeñó la mayor parte de la misma en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires, de la cual fue profesor titular plenario hasta su jubilación y después profesor emérito. Fue investigador superior del CONICET y miembro titular de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Buenos Aires. Desarrolló, también, sus actividades docentes y científicas en otras universidades argentinas: Córdoba, Bahía Blanca, La Plata, y en el exterior en Estados Unidos y Francia, manteniendo un sostenido intercambio con las Universidades de Northwestern, Montpellier y Estrasburgo. Fue también Profesor Visitante en las Universidades de Rutgers, Essen, París 7 y Mayor de San Marcos (Lima, Perú). Su destacada actuación científica lo hizo acreedor al Premio

Nacional de Ciencias de la Provincia de Santa Fe 1967 y del Premio Konex 1983. Su interés en matemática se centró en el álgebra. Desde sus inicios como investigador adquirió reconocimiento internacional. En su etapa inicial obtuvo importante resultados sobre semi simplicidad de las álgebras de grupo y a lo largo de su vida ha mostrado su destreza matemática en un amplio espectro de temas de álgebra: Teoría de Galois sobre anillos conmutativos, K-teoría, Geometría Algebraica, Álgebras de Clifford y Homología Cíclica. En esta última disciplina formó un activo grupo de investigación en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA. El Ing. Villamayor desempeñó una larga y relevante actuación directiva en organismos dedicados a la enseñanza y promoción de la ciencia, tanto a nivel nacional como latinoamericano. Fue director del Departamento de Matemática de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA (1966-1968), Vicedecano de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA, Miembro del Directorio del CONICET, Presidente del CONICET (1972/73), Presidente de la Unión Matemática Argentina (1976-1982), Presidente del Centro Latinoamericano de Matemática e Informática (CLAMI) durante más de diez años, Presidente de la Federación Latinoamericana de Matemática (1980-1988), Director del Programa de Perfeccionamiento en Matemática Superior de Egresados Universitarios Latinoamericanos. Desde estos cargos luchó por el desarrollo de la matemática en el país apoyando inicia-

tivas y proyectos. La mayoría de los institutos y programas de matemática dependientes del CONICET fueron creados con su decidido apoyo, algunos por su iniciativa. Su interés trascendía a su propia especialidad brindando su colaboración a todo grupo a persona que demostrase honestidad y realizase un trabajo de investigación de calidad. Estaba profundamente convencido de la necesidad de desarrollar la matemática en todo el ámbito de nuestro país y, más aún en la América Latina. Su acción por medio del Programa Multinacional de la Organización de Estados Americanos (O.E.A.) y posteriormente del Centro Latinoamericano de Matemática e Informática (CLAMI), permitió que muchos jóvenes de Latinoamérica cursasen sus estudios en universidades argentinas y obtuviesen licenciaturas y doctorados en matemáticas. Muchos de estos becarios han ocupado posiciones de gran importancia en sus respectivos países. Estas acciones han contribuido a crear auténticos vínculos de amistad y colaboración por lo que mucho se habla poco se hace. La importancia de sus funciones directivas contrastaba con la sencillez de su trato, mostrándose siempre accesible, aún en períodos de intensa actividad y siempre dispuesto, también, a algún comentario humorístico como una manera amable de facilitar la solución de las dificultades y aplacar las ansiedades. Para quienes tuvieron la suerte de tratarlo deja un profundo vacío que sólo halla consuelo en su recuerdo.

Dr. Carlos Segovia Fernández

30^a Olimpiada Internacional de Química (Melbourne, Australia - 5 al 13/7/1998)

Durante el pasado mes de julio tuvo lugar en la ciudad australiana de Melbourne la 30^a edición de la Olimpiada Internacional de Química (OIQ).

Nuestro país, que participa en las OIQ desde la 27^a edición en forma ininterrumpida, en esta oportunidad fue representado por los estudiantes: Mario Tagliazucchi, EET Don Zeno, Munro PBA. Juan Carlos Risso Patrón, Colegio Nacional de Buenos Aires, Cap. Fed. Pablo Hoijemberg, Escuela ORT, Cap. Fed. José Basutto, EET 445 (Esperanza, Santa Fe) y ENET N° 1 Otto Krause, Cap. Fed.

Si bien nuestros estudiantes han cumplido siempre una destacada actuación en el exterior, esta última participación fue especialmente brillante: Mario obtuvo Medalla de Oro siendo además el *tercer* mejor promedio de la OIQ, Juan Carlos obtuvo Medalla de Oro por el *décimo* mejor promedio, Pablo obtuvo Medalla de Plata (43^a posición) y José se hizo acreedor a una Medalla de Bronce (69^a posición). Esto configuró la mejor actuación de una representación argentina y si bien es una competencia individual, en conjunto el país quedó posicionado 5° entre los 47 países que tomaron parte de la OIQ. Acompañaron a estos muchachos la Prof. Dra. Norma S. Nudelman en carácter de Jefa de Delegación y Mentora y el Dr. Jorge A. O. Bruno en carácter de Mentor.

Otro hecho significativo fue la elección de la Prof. Nudelman como Representante por América ante el *Steering Committee* (Comité Olímpico Internacional), en reconocimiento a los extraordinarios logros de nuestras representaciones nacionales en tan sólo cuatro años de participación.

Los logros a los que nos refiriéramos en el párrafo anterior son producto del esfuerzo y sacrificio de nuestros estudiantes del nivel medio, sus padres, docentes y autoridades escolares y del arduo trabajo de quienes forman parte del Programa Olimpiada Argentina de Química, del cual la Prof. Nudelman es

Directora y que cuenta con los auspicios del Ministerio de Cultura y Educación de la Nación y de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA.

El proceso de selección de los cuatro integrantes del equipo nacional es arduo y exhaustivo. Se inicia con el Certamen Colegial, donde los colegios y estudiantes que voluntariamente deseen participar toman parte (a la fecha estamos hablando de unos 600 establecimientos y 5000 estudiantes a lo largo y ancho de la República). De allí se seleccionan los estudiantes que participan en el Certamen Intercolegial y el proceso continúa en el Certamen Zonal. Quienes hayan superado exitosamente las etapas previas toman parte en el Certamen Nacional, que tiene lugar en nuestra Facultad durante dos días del mes de noviembre de cada año. Salvo en el examen colegial, el resto de los exámenes son idénticos para todos los participantes y preparados por el Comité Olímpico, en consonancia con los temas de química ejemplificados en cuatro series de entrenamiento que se hacen llegar a los centros intercolegiales (más de 180 en todo el país) durante el año. Además, para garantizar la máxima participación posible, existen tres niveles de complejidad en todas las etapas: básico, intermedio y superior. En este último nivel, el certamen Nacional consta de exámenes teórico y práctico. Se determinan así a los campeones olímpicos nacionales y se distribuyen las medallas de oro, plata y bronce.

Pero el proceso no se detiene aquí. Durante el mes de marzo posterior, se convoca a los veinte mejores promedios entre los niveles Intermedio y Superior, para iniciar un durísimo período de entrenamiento en nuestra Facultad, tanto teórico como práctico. Dicho entrenamiento consiste en la preparación de temas de nivel universitario que los organizadores de cada OIQ hacen llegar a los países participantes y que pueden ser parte de los problemas que serán examinados en el evento Inter-

nacional. Una vez más, la participación de docentes de esta Casa es esencial para llevar adelante esta etapa tan importante para nuestros estudiantes. Los exámenes teóricos y prácticos y las selecciones graduales, se nominan los cuatro miembros del equipo argentino para la OIQ y del equipo que participará en el evento Iberoamericano (también anual). En la OIQ los estudiantes deben rendir dos exámenes de cuatro horas de duración cada uno: uno teórico que consta de entre siete y ocho problemas (cuya redacción suma unas 25 páginas de texto) y uno de laboratorio que consta en la realización simultánea de entre dos y tres prácticas (¡cada una de las cuales sumaría una jornada completa en nuestros cursos de grado!). Los temas a examinar involucran todas las grandes ramas de la química (¡el listado de temas contiene más de 350 ítems!).

En suma, el solo hecho de poder participar a nivel internacional, luego del proceso descrito más arriba, es un premio importante para estos chicos que tendrán la oportunidad de conocer a otros jóvenes de lugares diversos, sus costumbres y experiencias de vida, así como la de los lugares que visitarán. Para nosotros, como docentes, el mayor premio es la gratificación de compartir con ellos su esfuerzo y sus ganas de aprender y nos motiva para seguir adelante en esta profesión. Como si lo dicho no fuera suficiente, y al igual que sus antecesores, Mario, Juan Carlos, Pablo y José han tenido la capacidad e inclusive la generosidad de una destacada participación como corolario para sus logros previos, que nos empujaban como connacionales y nos dan esperanza en esta generación de jóvenes argentinos. En tiempos de abundancia de falsos ídolos, estos jóvenes y, por suerte, muchos como ellos deben ser el ejemplo a seguir por todos nosotros.

Dr. Jorge A. O. Bruno