

Ciencia e Investigación

ASOCIACION ARGENTINA
PARA EL PROGRESO
DE LAS CIENCIAS

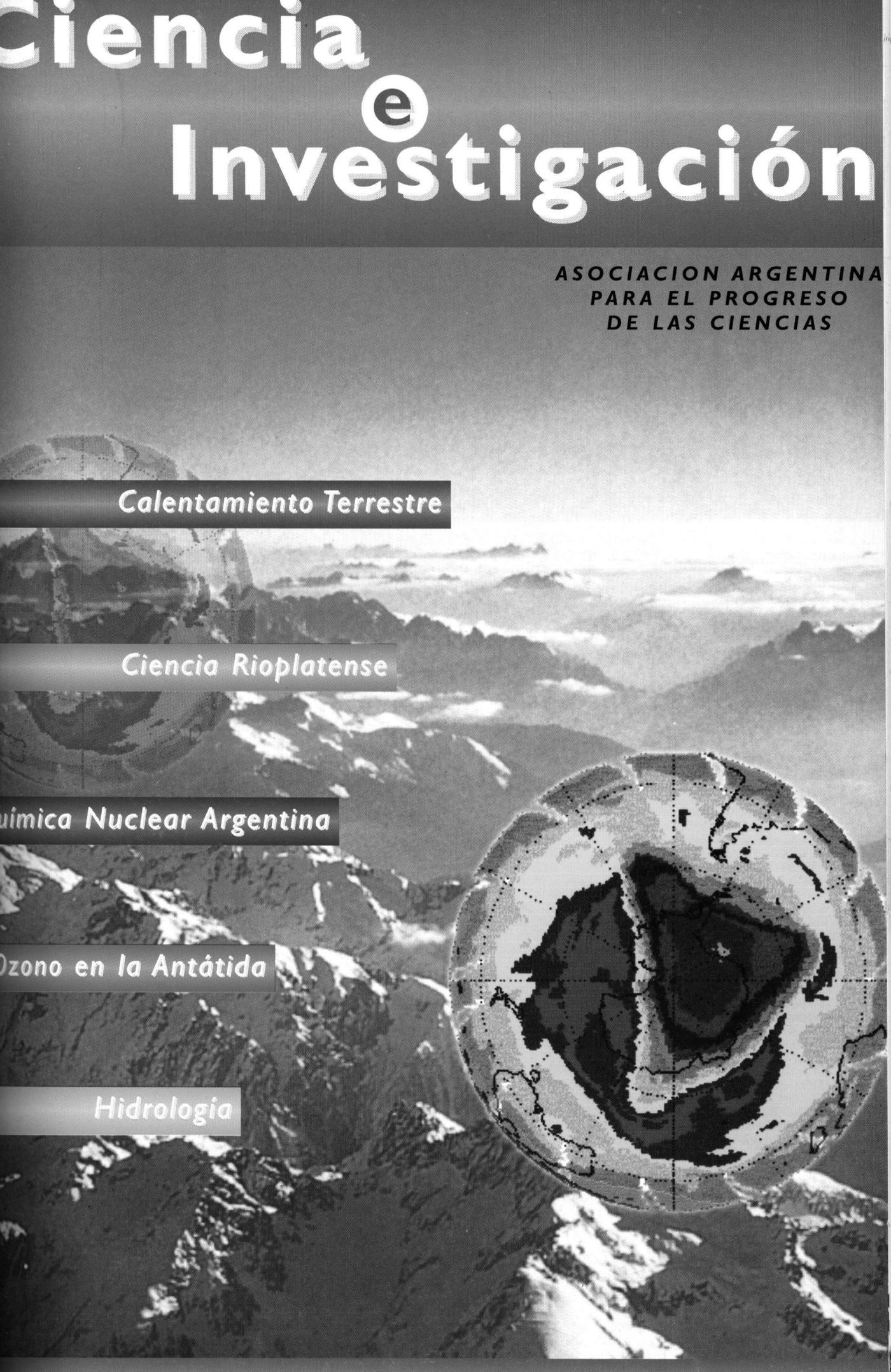
Calentamiento Terrestre

Ciencia Rioplatense

Química Nuclear Argentina

Ozono en la Antártida

Hidrología



Esta edición de **Ciencia e Investigación**
es editada con un subsidio de **YPF S.A.**

Editor Responsable
Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias

COMITE 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
Dr. Renato Radicella
Dr. Sadi U. Rifé
Dr. Carlos Rinaldi
Dr. Carlos Segovia Fernández
Ing. Roberto B.A. Solanilla

Producción Integral, Gráfica, Periodística y Comercial
Editorial Nueva Ciencia S.R.L.
Director Silvio H. Rapoport
Sarmiento 1562 7° "2" Sdo. Cpo.
(1042) Buenos Aires, Argentina
Tel/Fax (054-11) 4382-1981 / 4381-3996
E-mail: ednuci@rcc.com.ar

CIENCIA E INVESTIGACION: Revista de información científica. Es el órgano oficial de difusión de la Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias, Av. Almirante Brown 1711 (1014) Capital Federal. Teléfono: 4811-2998. No se permite su reproducción total o parcial citando la fuente. Registro Nacional de la Propiedad Intelectual N° 107. Precio por ejemplar: \$ 4.00. Números atrasados: se venden al último precio de tapa. Distribuidor en Argentina: Vaccaro Hnos. S.A., Entre Ríos 919, Piso 10 (1080) Capital Federal, Teléfono: 4305-3908/3854. En el exterior: D.I.S.A. Distribuidora Interplazas S.A., Pte. de los Andes 1836 (1135) Capital Federal, Teléfono: 4304-4973

ISSN - 0009 - 6733



Foto de Tapa: Capa de Ozono en la Antártida el 9 de Noviembre de 1998

Sumario

EDITORIAL

XXV Reunión Anual de las Asociaciones para el adelanto de las Ciencias (Asociación Inter-ciencias). Alberto Baldi - Presidente AAPC50

INVESTIGACIONES HOY

Depresión de la capa de Ozono en la Antártida. Por Carlos A. Rinaldi, Horacio Cazeneuve y Ricardo S. Ozu. La evolución de la capa de ozono en la región antártica tiene trascendencia global y debe ser investigada en todos sus aspectos.51

HIDROLOGIA

Programas de Investigación en Hidrología: La Teoría del Hidrograma Unitario Por Rafael Seoane y Alberto Moretti. El conocimiento de la relación precipitación - caudal de un río ha requerido la elaboración de teorías y modelos determinísticos y probabilísticos61

HISTORIA DE LA CIENCIA Y DE LA TECNICA

La Química Nuclear argentina en la década del cincuenta y el descubrimiento de nuevos radioisótopos. Por Renato Radicella. En la década del 50 la radioquímica argentina experimentó avances trascendentes con los trabajos, efectuados en la CNEA, por un grupo de destacados científicos.....69

Juan María Gutierrez (1809-1878). Historiador de la Ciencia en el Río de la Plata. Por Juan C. Nicolau. J. M. Gutierrez, destacado literato y creador del Departamento de Ciencias Exactas en la Universidad de Buenos Aires, también tuvo un particular interés por el estudio de la ciencia73

NOTA

La problemática del calentamiento terrestre. El Panel Intergubernamental sobre cambio climático. Por Osvaldo F. Canziani. Las consecuencias que el calentamiento atmosférico puede tener en el desarrollo futuro de la humanidad ha llevado a la creación de organismos intergubernamentales que analicen este proceso natural77

ENTREVISTA

Modificaciones en el metabolismo telomérico inducidas por radiaciones.81

NOTICIAS

.....83

INVESTIGACION Y DESARROLLO ENERGETICO

Innovación tecnológica, investigación y desarrollo en el sector energético: Una Visión Prospectiva. Por Carlos M. Marschoff.86

XXV REUNION ANUAL DE LAS ASOCIACIONES PARA EL ADELANTO DE LAS CIENCIAS (ASOCIACION INTERCIENCIAS)

Alberto Baldi - Presidente AAPC

La XXV Reunión Anual de la Asociación Interciencias (AI) celebrada en Buenos Aires, entre el 29 de septiembre y el 1 de octubre, constituyó un evento de significativa importancia en el marco de las actividades de la Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias (AAPC). Dicha reunión se realizó en la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

Una vez más debemos puntualizar que la AI tiene tres objetivos primordiales.

1) Unir a la comunidad científica de las Américas para mejorar el desarrollo de las naciones y los pueblos que la componen.

2) Promover en forma cooperativa el uso de la ciencia y tecnología.

3) Estimular la creación de Asociaciones para el Progreso de las Ciencias en aquellas naciones que aún no las han desarrollado.

Creemos, en este sentido, que la XXV Reunión de la AI (organismo que agrupa a todas las asociaciones americanas para el Adelanto de las Ciencias), trató de consolidar tales premisas.

El programa científico-tecnológico fue desarrollado durante los dos primeros días. Las sesiones se iniciaron resaltando la necesidad de ampliar y divulgar los conocimientos desde los niveles elementales (educación primaria), hasta alcanzar los más elevados en su complejidad académica (universitarios

y post-universitarios), sin que ello necesariamente persiga su aplicación inmediata o mediata. Sin embargo, quedó claramente señalado que la sociedad percibe que el conocimiento generado por las ciencias mejora o brinda la posibilidad de mejorar el nivel de vida de los ciudadanos. Dichos conceptos derivan de las exposiciones en el Simposio denominado Curiosidad, Conocimiento y Beneficios Tecnológicos con la participación de los doctores M. Dankert (Argentina), R. Arocena (ROU) y del Ing. A. Burgos (Venezuela). El Dr. N. Bazán (USA) concluyó el mismo con una conferencia sobre Desafíos de la Ciencia en las Primeras Décadas del Siglo XXI.

En el simposio Financiamiento de las Ciencias en las Américas, participaron los Dres. R. Getzinger (USA), J. Guimaraes (Brasil), M. Mariscoti (Argentina) y C. Sanchez (Panamá), cubriendo un amplio espectro crítico sobre cómo se financia la ciencia en los respectivos países. El Dr. G. O'Brien (USA) cerró la sesión con una disertación sobre Asociaciones entre la Ciencia, Educación y Desarrollo Económico.

El segundo día comprendió el simposio sobre Capitales de Riesgo para el Próximo Milenio, donde los doctores Dvorkin (Argentina), J. Botelho (Brasil) y C. Marchoff (Argentina), expusieron sobre las posibles formas de inversión

de riesgo en apoyo de proyectos científico-tecnológicos. La conferencia de cierre fue llevada a cabo por el Dr. S. Prescott (USA) refiriéndose a Temas de Biología Contemporánea, Células ADN y Señales.

El último simposio estuvo dedicado a la Propiedad Intelectual en Ciencia y Tecnología, siendo sus oradores el Ing. A. Martínez (Argentina) y los doctores M. Vernengo (Argentina) y M. Bergeron (Canadá). Las controversias, derechos intelectuales y patentamiento de innovaciones tecnológicas fueron materia de intensos debates. En general, quedó establecido que la productividad del saber es un factor determinante de la competitividad de los países.

La conferencia de clausura de la XXV Reunión fue dada por el Dr. J. Babul (Chile), Presidente saliente de la AI.

La última jornada fue reservada para una reunión interna de los delegados de la AI, donde se evaluó el resultado y proyecciones de la Reunión, programaciones futuras, acrecentamiento del papel de las Asociaciones Americanas para el Adelanto de las Ciencias, y elección de nuevas autoridades, habiéndose elegido por unanimidad al Dr. E. H. Charreau (Argentina) como Presidente y las Dras. A. M. Cetto (México) y G. Zacan (Brasil), como Vice-Presidente y el respectivamente de la Asociación.

DEPRESION DE LA CAPA DE OZONO EN LA ANTARTIDA EN 1998

Por Dr. Carlos A. Rinaldi, Dr. Horacio Cazeneuve y Dr. Ricardo S. Ozu (*)

La declinación de la abundancia de ozono en la Antártida, conocida como el agujero de ozono, es un fenómeno único por su magnitud, persistencia y características físicas y químicas. Es una región de muy bajo contenido de ozono que abarca el Continente Antártico, aislada por un fuerte vórtice circumpolar entre abril y octubre, y rodeada por una región con alto contenido de ozono, en latitudes medias. El agujero de ozono se forma dentro del vórtice polar, en el interior del cual, en las nubes estratosféricas polares, ocurre la activación del cloro que produce la ruptura de la molécula de ozono. Estas nubes se forman con temperaturas inferiores a -75°C , creando luego las condiciones para las reacciones catalíticas que destruyen la molécula de ozono.

Los modelos observacionales, teóricos y numéricos, formulados en años recientes, han mostrado que el vórtice polar antártico es una barrera casi impenetrable, en el sentido que el intercambio de aire entre el interior y el exterior del vórtice es casi nulo (Chen 1994, Pierce et al., 1994, Bowman, 1996 Godin et al., 1996).

No obstante, el supuesto intercambio de aire a través del vórtice es un factor crítico en el conocimiento de la dinámica y la química del agujero de ozono. Por ese motivo actualmente se debate sobre la probable penetración de aire a través del vórtice.

Los primeros estudios sobre la posibilidad de que las variaciones anuales del agujero de ozono, dependan en parte de la oscilación quasi-bianual (OQB), en la baja estratosfera ecuatorial, fueron efectuados por Bojkov (1986). Posteriormente García y Solomon (1987), dieron un mayor impulso a los estudios sobre el tema.

En años recientes, múltiples estudios han buscado la evidencia sobre la relación entre las variaciones quasi-bianuales de ozono, la OQB de los vientos zonales y la contribución de la temperatura superficial del mar (TSM) en el Este del Pacífico ecuatorial, la región de El Niño.

Para explicar la vinculación entre las variaciones de la TSM en el Pacífico ecuatorial, y la abundancia del ozono global, actualmente se acepta que las variaciones de la TSM producen variaciones en la actividad convectiva.

Estas variaciones generan la modulación de la interacción entre la OQB de los vientos ecuatoriales y las ondas planetarias extratropicales.

El resultado de esta interacción es la dispersión del ozono desde sus fuentes en la estratosfera tropical, hacia otras regiones del globo. Estos procesos afectan la actividad de ondas planetarias en altas latitudes, y el transporte de ozono y de calor a las regiones polares, lo que tiene un rol fundamental en el desarrollo del agujero de ozono.

Fuentes de datos

Las observaciones terrestres se efectúan en las bases antárticas Belgrano ($77^{\circ} 52' \text{ S}$; $34^{\circ} 37' \text{ W}$), y Marambio ($64^{\circ} 14' \text{ S}$; $56^{\circ} 37' \text{ W}$); en las cuales operan espectrofotómetros Brewer y Dobson, respectivamente.

En la base Marambio se efectúan, además, ozonosondeos mediante celdas de concentración electroquímicas desarrolladas por Komhyr (1969 y 1986), instaladas en globos que alcanzan la estratosfera media, los que ilustran el desarrollo temporal y vertical del mínimo de ozono.

Los ozonosondeos dan el perfil vertical de la concentración de ozono y de la temperatura de la estratosfera. Esa técnica permite efectuar mediciones durante la noche polar, mientras que las mediciones de superficie y de satélites, requieren la presencia de luz solar.

En este estudio se emplean imágenes del satélite Earth Probe/TOMS, provistas por la NASA, que contienen información sobre la evolución del campo de ozono a lo largo del año. El instrumento TOMS (Total Ozone Mapping Spectrophotometer) recibe la radiación ultravioleta solar retrodispersada. Efectúa entonces la medición diaria de la columna total de ozono sobre la región de todo el planeta iluminada por el Sol. No efectúa mediciones en las regiones

(*) Dirección Nacional del Antártico, Instituto Antártico Argentino, Cerrito 1248 (CP 1010) Buenos Aires, Argentina

abarçadas por la noche polar, por lo cual no se dispone de datos de julio y agosto, cuando se forma el agujero de ozono.

Una tendencia decreciente

Es útil presentar la tendencia de la variación de la concentración de ozono en los últimos años para poder distinguir los episodios esporádicos, que modifican la tendencia a largo plazo.

En las últimas décadas se ha registrado un pronunciado decrecimiento del ozono total. A partir de 1981 la aceleración de la pérdida de ozono alcanza al 2% por década, en latitudes medias y altas (Bojkov et al., 1995).

La causa de esta declinación debe ser estable y continua, probablemente vinculada con las emisiones antropogénicas de clorofluorocarbones. Se observan esporádicamente las variaciones naturales, superpuestas en la tendencia general decreciente.

Su origen es atribuido a las condiciones meteorológicas, tales como bajas temperaturas, el retardo en el calentamiento de la estratosfera, las fases de la oscilación quasi-bianual (OQB), y El Niño Oscilación Sur (ENOS), los cuales ejercen una influencia global en la circulación general de la atmósfera.

Los resultados recientes indican que en el caso de la OQB, los vientos dirigidos alternativamente desde el Este y desde el Oeste, en la estratosfera ecuatorial, generan un transporte de aire que influye en el desarrollo del agujero de ozono.

La tendencia decreciente a largo plazo es además alterada por otros fenómenos naturales, tales como la concentración variable de aerosoles en la estratosfera, cuya influencia fue notoria en 1992 y 1993 (Figuras 1 y 2).

La figura 1 ilustra los datos de ozono total obtenidos en la base Belgrano, en el período 1992-1998, con excepción de 1994, año en el que no hay datos de dicha base. Los extremos de las barras verticales indican los valores máximos y mínimos de cada año.

Los círculos muestran el valor medio, obtenido durante el desarrollo del

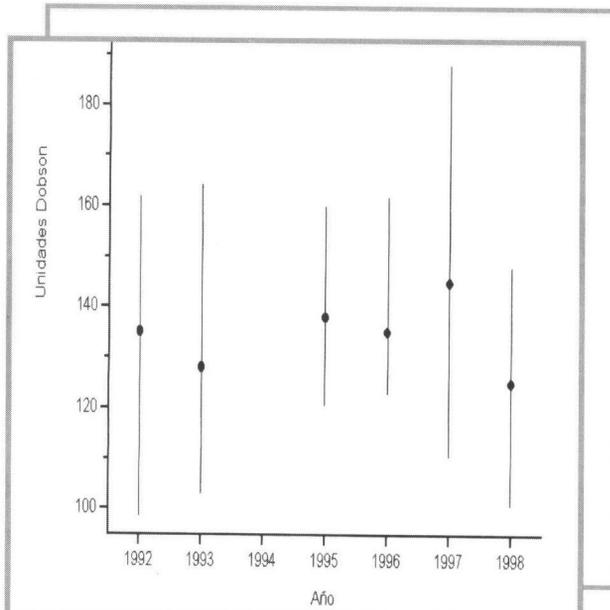


Figura 1. Base Belgrano. Los trazos verticales indican máximos y mínimos. Los círculos indican valores medios de septiembre y octubre.

agujero de ozono, entre septiembre y octubre de cada año. La figura 2 presenta la misma información obtenida en la base Marambio entre 1989 y 1998. En ambas figuras se aprecia, en 1992 y 1993, la gran disminución debida a la erupción del Monte Pinatubo, de las islas Filipinas, ocurrido en junio de 1991 (*).

La base Marambio está ubicada en el

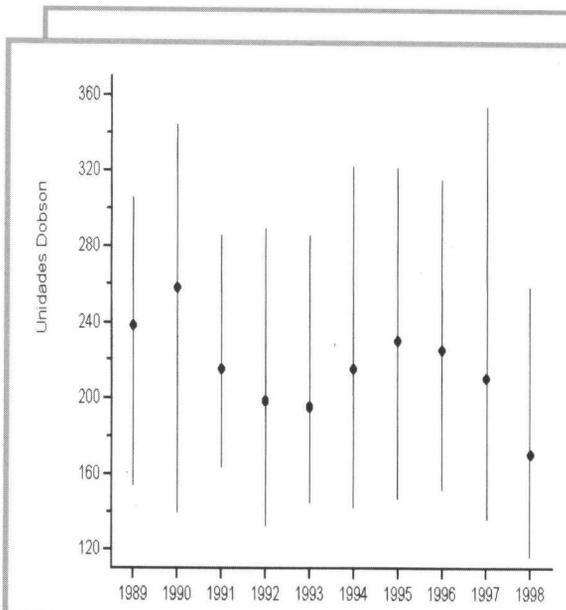


Figura 2. Base Marambio. Máximos, mínimos y valores medios de ozono total.

* Ciencia e Investigación, tomo 51, N° 1 y 2 (1998), págs. 31-35

borde del vórtice polar, se encuentra alternativamente dentro y fuera del mismo, debido a su rotación alrededor del Polo Sur. Cuando el vórtice polar es desplazado en dirección opuesta a la ubicación de la base, allí se registra un nivel de ozono muy alto notándose, en Marambio, grandes fluctuaciones en el período del agujero de ozono.

Esta situación explica los máximos tan pronunciados que se observan en la figura 2. En ambas figuras se destaca el descenso de los mínimos y de los valores medios a partir de 1995. Esta aceleración de la tendencia decreciente fue inicialmente observada por Stolarski et al. (1992).

El vórtice polar antártico

Las condiciones, meteorológicas de la Antártida tienen un rol fundamental en las variaciones de la concentración de ozono, y en particular en la formación del agujero de ozono.

Los fuertes vientos estratosféricos del Oeste, que circundan el Continente Antártico, forman una intensa circulación casi circular, o en espiral, centrada cerca del Polo, que es preponderante en invierno.

Este estado de circulación es un ciclón baroclínico, llamado vórtice polar, que es fundamental en la formación y el desarrollo del agujero de ozono. En su interior los vientos son débiles y su temperatura decrece hacia el Polo, alcanzando un nivel extremadamente bajo entre abril y octubre de cada año.

Cuando la temperatura de la estratosfera es inferior a -75°C dentro del vórtice polar, se forman las nubes estratosféricas polares (NEP), que favorecen las reac-

ciones fotoquímicas que producen el deterioro de la capa de ozono. Cuando la temperatura es unos pocos grados inferior, entre -78 y -82, dicho deterioro es fuertemente acelerado.

El vórtice polar antártico tiene gran estabilidad y persistencia. Los rayos solares después de la noche polar, producen el calentamiento de la estratosfera polar que lleva a la disipación del vórtice polar, que ocurre generalmente entre mediados de octubre y mediados de noviembre.

En ese período la temperatura aumenta entre 40° y 50° C, sobre el mínimo de invierno, entre 15 y 25 km de altura, y sólo se observan vientos débiles del Este. Este impresionante aumento de temperatura y la breve transición entre estos dos estados de la circulación estratosférica, son conocidos como ruptura del vórtice polar.

El vórtice polar aísla a la estratosfera antártica, forma una barrera impenetrable que impide el intercambio con aire de latitudes medias con mayor contenido de ozono. El vórtice polar determina el comienzo, la formación y la disipación del agujero de ozono, también fija sus dimensiones y cambios de forma.

El tiempo de ocurrencia de las etapas, desde la formación hasta la disipación del agujero de ozono, es de importancia fundamental en su desarrollo y resulta fuertemente afectada por los cambios de la circulación atmosférica. El agujero de ozono comienza y termina en períodos distintos cada año. La pérdida de ozono varía mes a mes y año a año, de un modo impredecible.

Bajo el efecto de las ondas planetarias, el vórtice se deforma, se contrae o se desplaza, puede también aumentar la temperatura en su periferia. Después de la perturbación, el vórtice se recupera y restablece la situación anterior.

Desarrollo del agujero de ozono

En la segunda semana de agosto se registraron valores menores de 220 UD, el nivel considerado límite del agujero de ozono. Las imágenes TOMS muestran la distribución espacial del ozono. En la franja de latitudes medias de 35 a 55° S, tanto como desde esta última la-

titud hasta latitudes polares, se mantiene el nivel promedio de los últimos 10 años, con oscilaciones que no exceden el 3%. Por otro lado, el vórtice polar está bien definido en este período (mitad de agosto), con temperaturas menores de -85° C, en la mayor parte de la Antártida.

Un hecho muy particular que debe ser destacado es la rapidez con que se ha expandido el vórtice polar en 1998, hasta abarcar el Continente Antártico y mares adyacentes.

De acuerdo con las estimaciones del Climate Analysis Center de la NOAA, en la segunda semana de agosto de 1998, el área afectada por el agujero de ozono abarcó 1 millón de km². En los últimos días de agosto se expandió a 10 millones de km².

En los primeros días de septiembre el área del agujero de ozono se expandió rápidamente hasta alcanzar 18 millones de km². Tan rápida expansión no fue observada, por lo menos en los últimos 12 años.

Los datos satelitales de la NOAA y de la NASA indican que a mediados de septiembre el área del agujero de ozono alcanzó 25 millones de km², abarcando todo el continente y los mares cercanos, mientras que en esa época de 1996 había alcanzado 20 millones y 18 millones de km² en 1997.

En este período el vórtice polar presentaba una elongación elíptica, alcanzando la latitud de 55° S, en el Atlántico Sur.

A mitad de octubre el área excedía los 25 millones de km², y descendió a 22 millones entre el 15 y el 18 de octubre, un área aún mucho mayor que en el mismo período de los años anteriores.

El área máxima alcanzada por el vórtice polar en 1981 fue de 5 millones de km². Desde entonces el crecimiento del área ha sido constante, hasta alcanzar 20 millones en 1990 y 25 millones de km² como máximo en 1998.

Entre el 2 y el 4 de septiembre de 1998 se registraron en Belgrano y Marambio 180 y 200 UD, respectivamente, y en Ushuaia 280 UD. En ese período los ozonosondeos de la base Marambio indicaron temperaturas entre -80° C y -85° C, en la estratosfera infe-

rior.

El día 4 de septiembre (figura 3), el agujero de ozono está claramente definido, y su deformación presenta los rasgos de una onda 3. Este número caracteriza la propagación de la onda planetaria.

Configuración del campo de ozono

En este estudio combinamos los datos de las bases antárticas y de la ciudad de Ushuaia, con la información satelital proveniente del TOMS. Las figuras presentan una cronología gráfica de la formación y del desarrollo del agujero de ozono.

La figura 3 muestra imágenes TOMS correspondientes a septiembre de 1998, período en el cual el agujero de ozono aparece y desaparece. El círculo blanco alrededor del Polo Sur, es la región oscura de la cual el satélite no recibe la radiación retrodispersada.

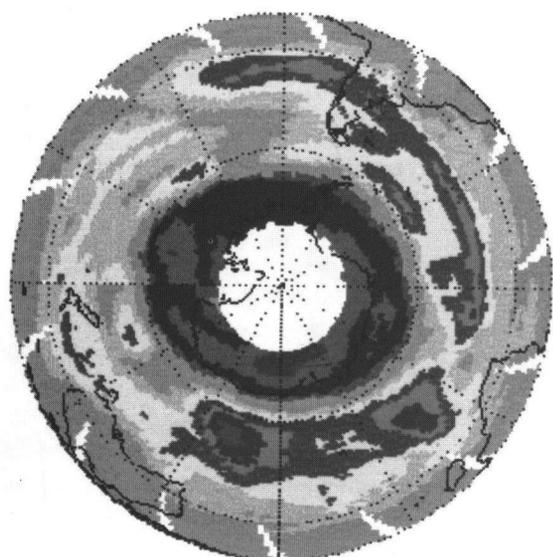
En los primeros días de septiembre el cinturón circumpolar es severamente distorsionado, y penetra en una región de muy bajo nivel de ozono.

En estas imágenes se observan franjas con aire de bajo contenido de ozono, que aparenta ser extraído del interior o de la periferia del vórtice polar. En la imagen TOMS del 2 de septiembre se observa una ancha franja que comienza cerca de 90° E, se extiende hasta alcanzar el Hemisferio Oeste, completa su movimiento circumpolar hasta quedar concéntrica con el vórtice.

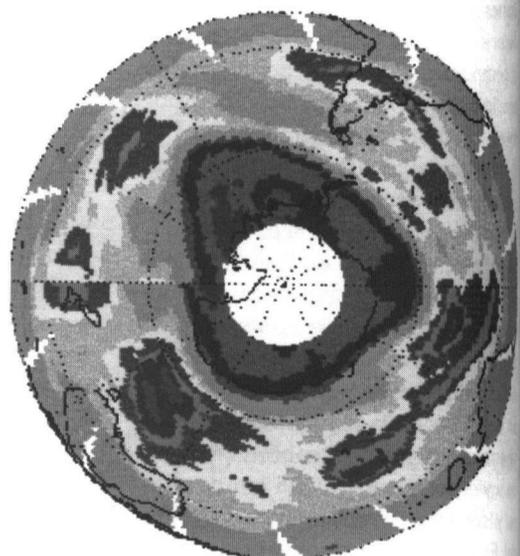
En años anteriores se observan deformaciones similares durante la formación del vórtice polar. Como ejemplo, la imagen TOMS del 14 de septiembre de 1991 (Figura 4) muestra una larga franja de bajo ozono, extraída del vórtice polar, que subsiste durante un período prolongado durante la formación del vórtice.

Después de efectuar su movimiento circumpolar, las franjas se contraen y se parten formando varias áreas con bajo ozono. Las secuencias de imágenes TOMS indican que las franjas concéntricas se deben a un proceso de extracción de aire seguido por un movimiento circumpolar, con característi-

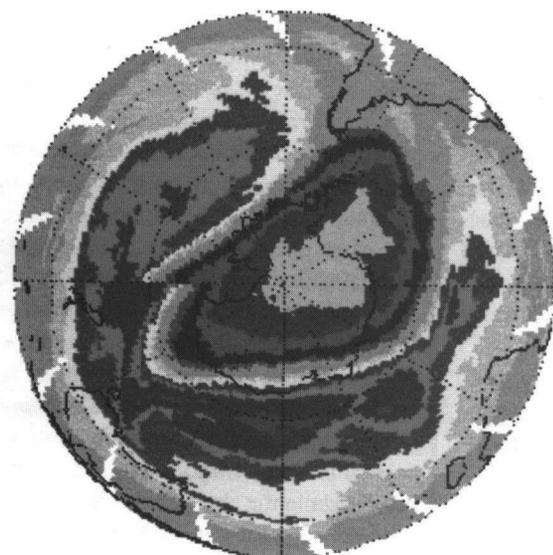
Figura 3



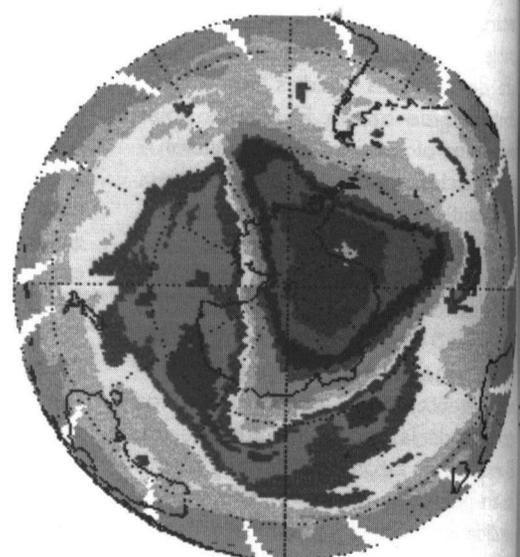
SEPTIEMBRE 02 DE 1998



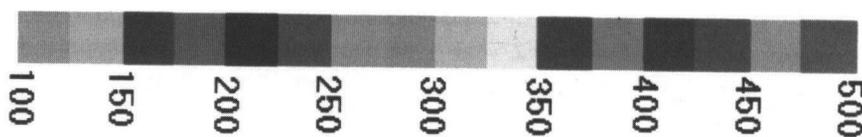
SEPTIEMBRE 04 DE 1998



OCTUBRE 23 DE 1998



NOVIEMBRE 09 DE 1998



DOBSON UNITS
DARK GRAY < 100, RED > 500 DU

cas de transporte horizontal.

En las imágenes en ozono total no se observa la deformación del campo de ozono, que puede ser diferente en distintos niveles. No podemos apreciar entonces si el movimiento de esas franjas tiene vinculación con el máximo de ozono en latitudes medias, ni su vinculación con ondas de escala planetaria, pues puede suponerse que ondas de gran amplitud provocan la formación de las franjas de aire extraídas del interior del vórtice.

En cambio, en 1998, se observa una única franja de muy corta duración, una rápida formación y definición del vórtice polar. La etapa de las largas colas de bajo ozono parece no haber existido. El 4 de septiembre (figura 3), la ancha franja de bajo ozono aparenta haber rotado hasta fusionarse con otra región similar alcanzando la formación definitiva del agujero de ozono que presenta los rasgos de una onda 3. La vida media de cada cola es de varios días, y son eliminadas presumiblemente por procesos de deformación y mezcla.

Desde el 4 de septiembre el agujero de ozono es claramente definido, presenta su configuración habitual: bajo contenido de ozono en las regiones polares rodeado por una franja de alta abundancia de ozono con su movimiento de rotación alrededor del Continente Antártico. El área cubierta por el agujero de ozono (valores menores que 220 UD) se ha expandido rápidamente hasta abarcar una extensión mayor que todo el Continente Antártico. De acuerdo con las estimaciones de la NASA, el área encerrada por el vórtice polar en 1998 alcanzó 25 millones de km². En los años anteriores nunca ha sido observada una expansión tan rápida.

En los primeros días de septiembre el nivel de ozono en Belgrano se mantuvo alrededor de 180 UD (60% de disminución), mientras que en Marambio se registraron fluctuaciones entre 170 y 220 UD. En la figura 3 se advierten las regiones aisladas en latitudes medias, con nivel superior a 350 UD. Desde el 6 al 8 de septiembre las regiones se fusionaron formando una extensa franja en forma de herradura, próxima

al vórtice polar, con muy alto contenido de ozono.

En 1998 el vórtice polar alcanzó su configuración definitiva cerca de 15 días antes que en años anteriores, con apariencia de haber saltado alguna etapa de su formación.

Los modelos de simulación matemática recientes muestran el efecto de la actividad de ondas planetarias en la secuencia de deformaciones del campo de ozono (Polvani y Plumb 1992).

La persistencia de la configuración regular del vórtice polar durante un período largo, indica por lo menos la ausencia de ondas planetarias de gran amplitud (Bowman 1996), o bien una débil actividad de esas ondas.

Las ondas planetarias se originan en inestabilidades o interacciones no lineales que se desarrollan en la troposfera superior, desde donde se propagan verticalmente a través de la estratosfera. Cuando golpean la periferia del vórtice éste se deforma o se contrae y aumenta su temperatura periférica.

El 23 de octubre de 1998 (figura 3) el vórtice polar es deformado por una onda 3, aparece con rasgos de onda 2 pocos días después y es desplazado hacia el Atlántico Sur. Una extensa región con muy alto nivel de ozono en latitudes medias envuelve al vórtice polar en 3 de los 4 cuadrantes.

De acuerdo con los registros de temperatura estratosférica, la dinámica de la estratosfera fue muy perturbada durante la primavera de 1998. La imagen TOMS del 9 de noviembre muestra el fuerte efecto de una persistente onda 3, cuyo impacto produce el desplazamiento del vórtice polar hacia el Atlántico Sur, así como la temperatura extremadamente baja de ese período.

Pocos días después el vórtice recupera su ubicación circumpolar y el continente se encuentra debajo del mismo. En la imagen TOMS del 9 de noviembre se observa también la región de alto contenido de ozono que rodea al vórtice, y que se mantiene desde el 30 de septiembre (Ver imagen del 23 de octubre, figura 3).

En este período un rápido calentamiento estratosférico produce un aumento de temperatura registrado en los ozonosondeos de la base Maram-

bio, los cuales indican una temperatura de -38° C a 30 km de altura el día 7 de noviembre, mientras que esa temperatura se encuentra a 24 km de altura el 10 de noviembre de 1998. No obstante, a pesar del aumento de temperatura, en las bases Belgrano y Marambio no se observa la reducción de la pérdida fotoquímica de ozono, que podría haberse esperado.

La persistencia del vórtice es inusual, no presenta signos de ruptura hasta comienzos de diciembre. El 3 de diciembre el campo de ozono es fuertemente deformado y comienza a contraerse (figura.4). El contorno irregular es concordante con el proceso de mezcla caótica que precede a la disipación final del vórtice polar

Las imágenes TOMS del 8 y 12 de diciembre indican que el agujero de ozono aún persiste, debilitado por el calentamiento radiativo y la disipación de ondas planetarias. La abundancia de ozono se incrementa lentamente cuando el transporte meridional lleva a la Antártida aire rico en ozono. Se observa entonces el movimiento de rotación de grandes dimensiones alrededor de la Antártida ilustrado en las imágenes del 8 y 12 de diciembre. El proceso culmina con el calentamiento final de la estratosfera y la ruptura del vórtice polar. El 16 de diciembre el vórtice polar ha desaparecido, su disipación es completa.

La anormal estabilidad del vórtice ha producido una prolongada contención de sustancias químicas activas, mientras que la baja temperatura ha incrementado la efectividad de las NEP.

La estructura de capas

En los ozonosondeos del período del agujero de ozono se observa una pronunciada y muy variable estructura de capas. La estratosfera media y superior ha sido dinámicamente activa en ese período, lo que sugiere que los procesos de transporte producen la estructura.

Esa formación de las capas aparenta originarse en el transporte horizontal que intercala capas de alto y bajo contenido de ozono. En ciertas ocasiones, ondas de gran amplitud pueden ex-

traer del interior del vórtice aire muy pobre en ozono (Bowman and Mangus 1993).

En el ozonosondeo del 2 de septiembre de 1998 (figura 5), se encuentra claramente definida la región de la es-

tratosfera inferior donde predominan los efectos dinámicos, y la región donde predominan las reacciones fotoquímicas, en la estratosfera media y superior. En la región intermedia (-18 km), ambos procesos contribuyen a la am-

plitud de la anomalía de ozono.

Las 3 regiones están bien definidas en el ozonosondeo del 2 de septiembre de 1998. Por el contrario, el ozonosondeo del 26 de agosto de 1998 muestra una fuerte destrucción del ozono en la

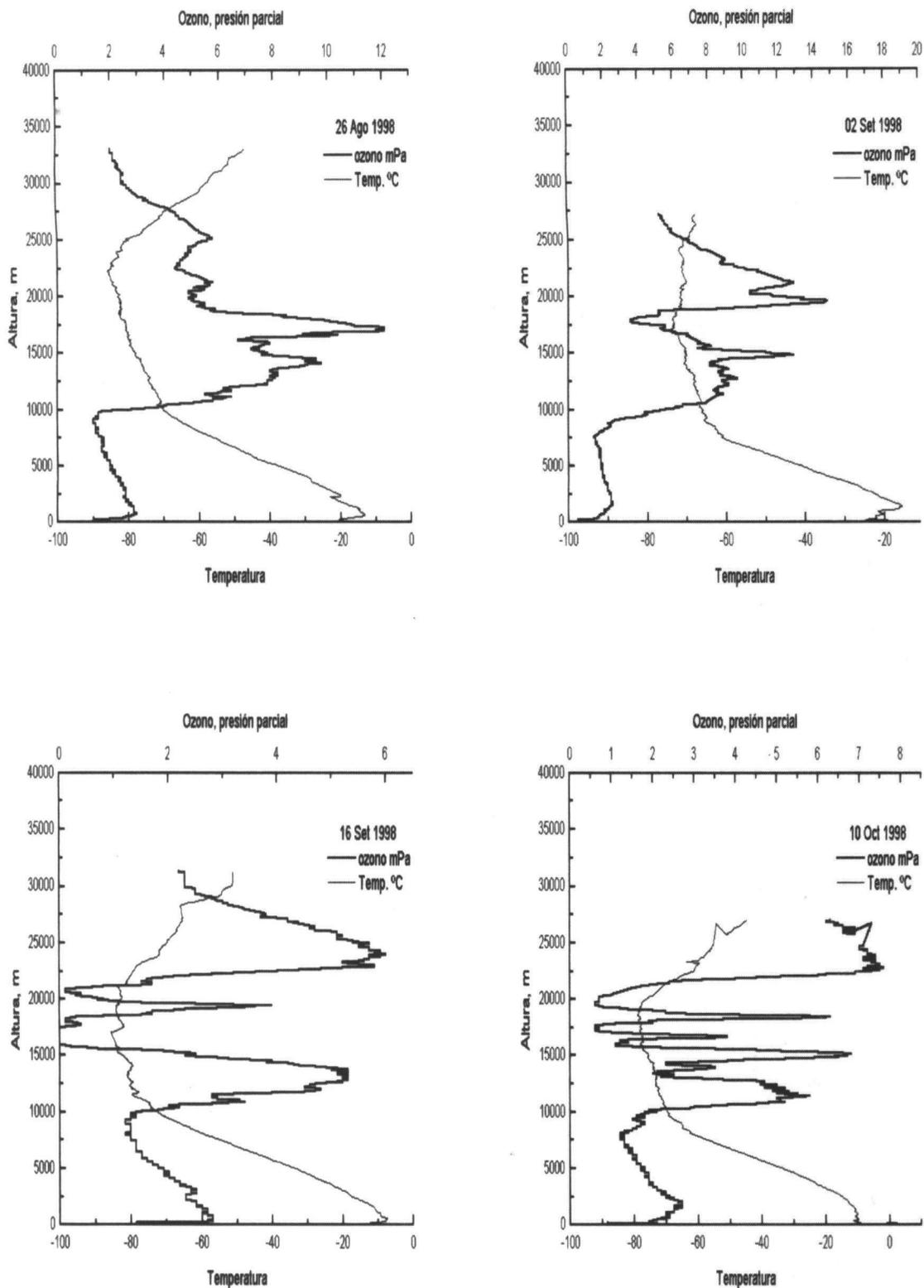


Figura 5. BASE MARAMBIO. PERFILES VERTICALES DE OZONO Y TEMPERATURA

zona fotoquímica (arriba de 18 km), mientras que la porción inferior es muy poco afectada.

El 16 de septiembre de 1998 los instrumentos a bordo del ozonsonda encontraron una región con ausencia total de ozono entre 16 y 19 km de altura, y una severa destrucción del mismo entre 14 y 23 km. El nivel cero de ozono ocurre en la región intermedia, o de transición, donde ambos procesos son efectivos.

El virtual cese del flujo de ozono hacia la estratosfera sobre Marambio, muy probablemente se debe a un incremento excepcional de la actividad fotoquímica, combinado con movimientos del vórtice polar, no perceptibles en las imágenes de ozono total.

Esta situación extrema se incrementa aún más si agregamos el transporte de masas de aire pobre en ozono, forzado por movimientos verticales ascendentes, que normalmente se produce en estas condiciones. Esta secuencia de ozonsondeos con ausencia de ozono, es interrumpida por procesos de intrusión de aire con mayor contenido de ozono.

El ozonsondeo del 10 de octubre de 1998 (figura 5), muestra una muy desarrollada estructura de capas con una fuerte reducción del nivel de ozono. La destrucción fotoquímica del ozono es tan intensa que la región fotoquímica se confunde con la región de transición en el rango 13-23 km, con una temperatura de -80°C .

La estructura de capas múltiples en los perfiles de la figura 5, indica el predominio de transporte quasi - horizontal, en medio de una inusual actividad dinámica y de una gran actividad de ondas planetarias. Entre los perfiles del 16 de septiembre y 10 de octubre, cuando podía esperarse el calentamiento radiativo, no existe un cambio significativo de la temperatura entre 15 y 18 km de altura; lo que indica que el movimiento de advección horizontal es la causa principal que altera la estructura de capas, y la variación del nivel de ozono.

Las imágenes TOMS no permiten determinar las deformaciones del campo de ozono en diferentes niveles. La estructura vertical que refleja la dinámica

del vórtice no puede ser vista en la columna total de ozono. Los rasgos de la estructura de capas no son visibles por ese motivo, así como no pueden observarse las deformaciones que producen las ondas planetarias en distintos niveles.

La temperatura en 1998

En el estudio de las anomalías del campo de ozono, es primordial considerar la temperatura de la estratosfera inferior, debido a la correlación que existe entre los cambios de ambos, en razón de factores dinámicos comunes.

Para comparar la temperatura de la estratosfera inferior con la de años anteriores, tomamos como referencia los valores medios de los ozonsondeos de la base Marambio, desde 1989 hasta 1998. Entre julio y octubre de ese período, los valores medios oscilan entre -65 y -72°C .

En cambio, en la base Marambio en ese período de 1998, la temperatura se mantuvo entre -80 y -86°C . En el mes de diciembre de los años anteriores la temperatura se sostuvo entre -40 y -50°C , mientras que en diciembre de 1998 comienza en -72°C , para llegar a -58°C al finalizar el mes.

Esta apreciable diferencia de temperatura debe destacarse como particularidad del deterioro de la capa de ozono en 1998. Las temperaturas extremas, la mayor área abarcada por el vórtice polar, pueden interpretarse como cambios mayores a los previsible.

En el extremo sur del continente

Desde principio de septiembre el vórtice polar presenta una configuración triangular, que cambió a elíptica en los últimos días del mes.

En su rotación el vórtice polar alcanza el extremo sur del continente, abarcando parte de Tierra del Fuego; por lo cual en Ushuaia se registró entre 180 y 200 UD, entre el 19 y el 21 de septiembre. El 30 de septiembre el vórtice polar se expande fuera del Continente Antártico, alcanzando en su rotación a Tierra del Fuego, obteniéndose en Ushuaia valores algo inferiores a 200 UD. El 19 de octubre el agujero de ozono

presenta una configuración elíptica, con una fuerte elongación en la dirección 90W 90 E. En su rotación, su borde vuelve a alcanzar Tierra del Fuego, registrándose en Ushuaia entre 180 y 200 UD, los días 19 y 20 de octubre. Al mismo tiempo, el vórtice polar está rodeado por una región en forma de herradura, con valores superiores a 400 UD, que se extiende al Sur de los océanos Atlántico, Pacífico e Indico.

Durante casi todo el período del agujero de ozono en Ushuaia se han registrado valores superiores a 300 UD, concordantes con las imágenes TOMS. Estas mediciones muestran claramente que el Sur Argentino no es afectado por el fenómeno a pesar de haber sido éste, en 1998, el más extenso y profundo.

Cambios en la circulación atmosférica, la oscilación ecuatorial y la temperatura del mar

La tendencia decreciente en ozono total es evidente desde 1980 y se la atribuye a la destrucción fotoquímica del ozono por compuestos de cloro y bromo, en reacciones heterogéneas, en presencia de las NEP.

Las fluctuaciones superpuestas en este decrecimiento continuo, que ya hemos mencionado, han sido vinculadas con las OQB tropical de los vientos, y con el fenómeno ENOS. La abundancia global de ozono es modulada por cambios en el transporte de ozono y de calor, inducidos por la TSM. Si no fuera por la redistribución de ozono por los vientos, la distribución y abundancia de ozono sería muy diferente de lo que es en el presente.

Se acepta además que el intercambio y la mezcla de aire estratosférico entre trópicos y altas latitudes ocurre cuando las ondas planetarias penetran en bajas latitudes. Cuando se reduce la interacción entre ondas planetarias y la OQB del viento (acompañada por la intensificación de la celda de circulación de Hadley), puede decrecer la dispersión de ozono desde sus fuentes en la estratosfera tropical hacia latitudes altas. (Hollandsworth et al., 1995). Las evidencias sobre estas relaciones

no son conclusivas, pues en muchos casos las observaciones provienen de muestreos aislados. No obstante, estas evidencias permiten una explicación aceptable de distintos fenómenos, que de otro modo no podrían ser entendidos.

La dispersión de ozono desde los trópicos hacia latitudes altas es severamente afectada por la OQB del viento. La gran complejidad de estos procesos consiste en que las fases Este y Oeste de la OQB del viento, pueden estar presentes simultáneamente en distintos niveles de la estratosfera, y con diferencias de fase entre esos niveles.

Debe agregarse que la relación entre las variaciones de ozono y las fases de la OQB del viento es extremadamente complicada, debido a las características de la circulación atmosférica, que no son claramente conocidas. Estas circunstancias inducen variaciones impredecibles con errores en los cálculos de las tendencias e incertezas en las técnicas de predicción.

Como señal de referencia de la OQB se emplea la velocidad del viento zonal y la temperatura de la estratosfera inferior ecuatorial, ambos medidos en Singapur (1° N -103° E), en el nivel de 50 mb (20 km). Como indicador de ENOS se emplea la TSM en el Este del Pacífico ecuatorial, en la región de El Niño. Se suelen tomar los datos entre las latitudes 8° S - 8° N, y las longitudes 150° W - 90° W. La TSM entre el 15 - 28 de octubre de 1998 fue muy superior a lo habitual en ese período, unos 0,67° C mayor que en el período 1980 - 1995.

El ozono total en Belgrano en el período del 15 al 31 de octubre decreció de -280 UD, en 1992 a 180 en 1998. La química heterogénea del cloro combinada con el crecimiento continuo del nivel de cloro, no puede explicar totalmente las características de la depleción de ozono en 1998.

Comparando con resultados anteriores, los primeros estudios de García y Solomon (1987), indican la tendencia de un agujero de ozono más intenso cuando los vientos ecuatoriales provienen del Oeste (Lait et al., 1989). Por otra parte Komhyr et al. (1991) llegan a un resultado inverso: cuando aumen-

ta la intensidad del viento del Este, decrece la dispersión de ozono desde los trópicos. Más recientemente Bojkov et al. (1995 a y b) encuentran, en cambio, que el nivel muy bajo de ozono está relacionado con vientos del Oeste, en coincidencia con los resultados de Gernandt et al. (1998).

Por otra parte, las observaciones en la base antártica Syowa (69° 00' S, 39° 35' E), indican un número similar de casos con un mayor decrecimiento de ozono asociado con vientos del Este, que con vientos del Oeste (Angell 1993).

Para poder conciliar estos resultados aparentemente discrepantes, se deben considerar distintos factores: la duración de la transición del máximo del viento del Este a la fase de vientos del Oeste, en la estratosfera baja; la relación entre las fases de la oscilación quasi - bianual y la intensidad del agujero de ozono. En todos los casos es necesario considerar las relaciones en cada época del año, y los distintos niveles de la estratosfera pues los corrimientos de fase varían con la altura. Deben considerarse también los estudios similares hechos en el Hemisferio Norte. Estos estudios deben basarse en muy largas series de datos, en muchos ciclos de OQB.

Durante 1998 la circulación meridional estuvo bajo la influencia de la OQB de los vientos en el Pacífico Ecuatorial. Desde la formación del agujero de ozono, julio - septiembre, predominan los vientos del Oeste, de modo que el desarrollo del mismo ocurre durante la fase Oeste de la OQB.

La excepcional amplitud de la anomalía de ozono en 1998 está entonces relacionada con la disminución de la dispersión de ozono desde la estratosfera tropical hacia altas latitudes, que aparenta ser el factor principal en esa anomalía. El agujero de ozono de 1998 fue aún más intenso que durante La Niña tan fría de 1996.

En septiembre y octubre de 1998 se registraron frecuentes oscilaciones en el movimiento circumpolar del vórtice polar, durante las cuales algunas regiones periféricas de la Antártida quedaron fuera del vórtice. Debido a esta situación las diferencias de circulación atmosférica afectan de distinto modo a

diversas regiones de la Antártida.

Las oscilaciones son causadas por ondas baroclínicas que se propagan desde latitudes medias, lo que se combina con los cambios en el régimen radiativo, debidos al incremento de la radiación solar.

Conclusiones

Surge naturalmente el interrogante sobre las causas del gran incremento del agujero de ozono en 1998. La información disponible no permite una distinción precisa, cuando la pérdida de ozono es debida puramente a transporte atmosférico, y cuando es debida a la acción fotoquímica. No obstante, hay evidencias de que ambos procesos están presentes, aunque en distinta magnitud, en diferentes niveles de la estratosfera.

El incremento del agujero de ozono en 1998 se debe en gran parte a que el ENOS y la OQB oscilan en fase: la fase del Oeste de la OQB del viento coincide con los valores positivos del índice de oscilación Sur (la presión atmosférica es mayor en Tahití, Polinesia francesa, que en el Norte de Australia).

Este efecto sinérgico aparenta haber exacerbado las fuerzas naturales que controlan el desarrollo del agujero de ozono, y las variaciones del ozono en escala global.

En cuanto al predominio de las fases Este u Oeste en el deterioro de la capa de ozono, no existen evidencias concluyentes. Las diferencias de fase entre las variaciones de ozono, la OQB de los vientos ecuatoriales y la temperatura superficial del mar, varían a su vez en distintos niveles de la estratosfera. Esta situación dificulta la obtención de evidencias que permitan resultados concluyentes.

El examen de la información permite inferir que tanto la fase del Oeste de la OQB como las perturbaciones de la dinámica estratosférica, indicada por los registros de temperatura, son una gran contribución a la anomalía negativa de ozono de 1998. Por otra parte, es bien conocida la vinculación entre las anomalías negativas de temperatura y las alteraciones de la circulación atmosférica relacionadas con la fase oes-

te de la OQB.

El retardo en la ruptura del vórtice polar en 1998, está relacionado con un período prolongado con muy bajas temperaturas en la estratosfera antártica. Se produjo así un vórtice polar muy frío, prolongado y estable, que impidió la evaporación de las NEP, provocando la prolongada contención de sustancias químicas activas, lo que incrementó la efectividad de las NEP en el deterioro de la capa de ozono.

El transporte meridional de aire rico en ozono desde latitudes medias en 1998, comienza entonces más tarde que en años anteriores (comienzos de diciembre), cuando la ruptura del vórtice polar ocurrió a mitad de octubre. Un calentamiento tardío de la estratosfera y una llegada tardía de ozono a la Antártida, son evidencias de cambios en la circulación atmosférica.

Esta situación sugiere que los cambios en la circulación que afectan el transporte de ozono, no deben estar limitados al período agosto - octubre, sino que lo deben afectar durante todo el año. Si bien no hay evidencias, puede pensarse que el ozono troposférico también debe ser afectado por los cambios en la circulación atmosférica.

No sabemos si el efecto combinado entre OQB y el ENOS se ha intensificado en los últimos años, pero sí se advierte un incremento de la actividad fotoquímica que contribuye a la creación del agujero de ozono, y variaciones en las fuentes y sumideros fotoquímicos.

La gran cantidad de días observados con muy alta pérdida de ozono, con valores alrededor de 100 UD, es un rasgo notable del período septiembre-octubre de 1998. Tan extrema situación no ha sido observada anteriormente, en las bases Belgrano y Marambio.

La actividad de ondas planetarias afuera de los trópicos, es modulada (mediante teleconexiones), por el calentamiento del agua y de la atmósfera cercana, en el Pacífico tropical. Esta modulación produce cambios en el transporte de ozono y de calor, lo que altera también la distribución de ozono.

Finalmente podemos argumentar que los fenómenos naturales que intervienen en la generación de las perturbaciones en la capa de ozono, aparentan

ser el factor principal en el crecimiento del agujero de ozono de 1998. Pero subsiste el interrogante sobre la magnitud de la contribución relativa de los fenómenos naturales y de las alteraciones antropogénicas. Si el peso de las actividades humanas es mayor que el de las causas naturales, o viceversa, es hasta el presente un enigma.

Para referimos a la tendencia decreciente, agreguemos que el constante decrecimiento aparenta indicar que la tendencia continuará mientras el nivel de cloro se mantenga en la estratosfera, lo que en general se cree se mantendrá hasta adelantado el siglo próximo.

Agradecimientos: Los autores agradecen al personal de las estaciones polares Belgrano y Marambio por haber conducido activamente las observaciones, en dichas estaciones, aportando la información para este estudio. En particular agradecemos a los Técnicos Jorge Araujo por su eficaz aporte al procesado de la información y la Sra. María del Carmen Hernández por su constante asistencia durante el desarrollo de este estudio.

.....

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1- Angell, J. K., 1993. Reexamination of the relation between depth of the Antarctic Ozone hole, and equatorial QBO, and SST. *Geophys. Res. Lett.*, 20, 1559 - 1562.

2- Bojkov R. D., 1986. The 1979 - 1985 ozone decline in the Antarctic as reflected in ground based observations. *Geophys. Res. Lett.*, 13, 1236 - 1239.

3- Bojkov, R. D., L. Bishop and V. E. Fioletov, 1995a. Total ozone trends from quality controlled ground - based data (1964 - 1994). *J. Geophys. Res.*, Vol 100, D. 12, 25, 867 - 25.876.

4- Bojkov, R. D., V. E. Fioletov, D. S. Balis, C. S. Cerezos, T. Kadygrova and A. M. Shalamjansky 1995b. Further ozone decline during the Northern Hemisphere Winter spring of 1994 - 1995 and the new record low ozone over Siberia, *Geophys. Res. Lett.*, 22, 2729 - 2732.

5- Bowman, K. P., 1996. Rossby wave Phase Speeds and Mixing barriers in the stratosphere. Part 1. Observations. *J. Atmosph. Sci.*, Vol. 53, N° 6, 905 - 916.

6- Bowman, K. P., and N. J. Mangus, 1993. Observations of deformation and mixing of the total ozone field in the Antarctic polar vortex. *J. Atmos. Sci.*, 50, 2915 - 2921.

7- Chen, P., 1994. The permeability of the Antarctic vortex edge. *J. Geophys. Res.*, 99, 20 563-20571.

8- Garcia, R. R., S. Solomon 1987. A possible relationship between interannual variability in Antarctic ozone and the quasi-biennial oscillation. *Geophys. Res. Lett.*, 14, 848 - 851.

9- Gernandt, H., A. Herber, P. Von Der Gathen and S. Kaineto, 1998. Ozone variations in the Southern polar stratosphere. *Mem. Nat. Inst. Polar. Res.*, 52, 68 - 88.

10- Godin, S., C. David and M. Guirlet, 1996. Evolution of the Mt. Pinatubo volcanic cloud and analysis of its effect on the ozone amount as observed from ground-based measurements. The Mount Pinatubo eruption, NATO ASI series vol. I 42. Springer - Verlag, Berlin.

11- Hollands worth S. M., K.P. Bowman and R. D. McPeters, 1995. Observational study of the quasi-biennial oscillation in ozone. *Geophys. Res.*, 100, 7347 - 7361.

12- Komhyr, W. D., 1969. Electrochemical concentration cell for gas analysis. *Ann. Geophys.*, 25, 203 - 210.

13- Komhyr W. D., 1986. Operations Handbook: Ozone measurements to 40 Km altitude with model 4A electrochemical concentration cell ozonosondes. NOAA Technical Memorandum, ERL ARL - 149, NOAA, Washington DC.

14- Komhyr, W. D., S. J. Oltmans, R. D., Grass and R. K. Leonard. 1991. Possible influence of long - term sea surface temperature anomalies in the tropical Pacific on global ozone. *Canadian J. Physics*, 69, 1093 - 1102.

15- Lait, L. R., M. R. Schoeberl and P.A. Newman, 1989. Quasi - biennial modulation on the Antarctic ozone depletion. *Geophys. Res.*, 94, 11,559 - 11,571.

16- Pierce, R. B., W. L. Grose, R. Swinbank and A. O'Neill, 1994. Mixing processes within the polar night jet. *J. Atmos. Sci.*, 51, 2957 - 2972.

17- Polvani, L. M., and R. A. Plumb., 1992. Rossby wave breaking, microbreaking filamentation and secondary vortex formation: the dynamics of a perturbed Vortex. *J. Atmosph. Sci.*, 49, 462 - 476.

18- Stolarski, R. S., R. D. Bojkov, L. Bishop, C. S. Zerefos, I. Stahelin and J. M. Zawondy. 1992. Measured trends in stratospheric ozone. *Science*, 256, 342 - 349.

PROGRAMAS DE INVESTIGACION EN HIDROLOGIA: LA TEORÍA DEL HIDROGRAMA UNITARIO

Por Rafael Seoane (1) y Alberto Moretti (2)

En este trabajo se presenta un análisis de la teoría del hidrograma unitario instantáneo aplicando conceptos del modelo de reconstrucción del cambio científico propuesto por Lakatos. Se consideran distintas versiones de la teoría que fueron seleccionadas por su interés científico y sus numerosas aplicaciones técnicas.

El trabajo comienza con una breve descripción de la teoría del hidrograma unitario instantáneo geomorfoclimático desarrollada por Rodríguez-

Iturbe et al. (1982) mostrando algunos cambios introducidos con respecto a la versión de 1979. También se indica la influencia de este desarrollo en otros traba-



jos que incluyen en su base metodológica la teoría del hidrograma unitario.

En la segunda parte del trabajo se discute la aplicación de un modelo clásico de reconstrucción del cambio científico a distintas versiones de la teoría del hidrograma unitario instantáneo.

En el análisis final se ofrecen elementos para sostener que el desarrollo histórico de las distintas versiones de la teoría configura

dos grandes programas de investigación diferentes, uno determinístico y otro probabilístico.

(1) Rafael Seoane es Ingeniero Civil, orientación Hidráulica (U.B.A.), Magister en Planificación e Ingeniería de los Recursos Hidráulicos (Universidad Simón Bolívar, Venezuela), Investigador del Conicet y del Instituto Nacional del Agua y del Ambiente. Profesor Adjunto en la U.B.A. y U.N.C.P.B.A. Area de trabajo: modelos hidrológicos y análisis de sistemas hidrológicos. E-mail: rsseoane@mail.retina.ar.

(2) Alberto Moretti es Doctor en Filosofía (U.B.A.), Investigador Independiente del Conicet y Profesor Titular de Lógica (U.B.A.), Presidente de la Asociación Filosófica de la República Argentina. Área de trabajo: Filosofía.

PROGRAMAS DE INVESTIGACION EN HIDROLOGIA: LA TEORÍA DEL HIDROGRAMA UNITARIO

Por Rafael Seoane (1) y Alberto Moretti (2)

En este trabajo se presenta un análisis de la teoría del hidrograma unitario instantáneo aplicando conceptos del modelo de reconstrucción del cambio científico propuesto por Lakatos. Se considerarán distintas versiones de la teoría que fueron seleccionadas por su interés científico y sus numerosas aplicaciones técnicas.

El trabajo comienza con una breve descripción de la teoría del hidrograma unitario instantáneo geomorfoclimático desarrollada por Rodríguez-

Iturbe et al. (1982) mostrando algunos cambios introducidos con respecto a la versión de 1979. También se indica la influencia de este desarrollo en otros traba-



jos que incluyen en su base metodológica la teoría del hidrograma unitario.

En la segunda parte del trabajo se discute la aplicación de un modelo clásico de reconstrucción del cambio científico a distintas versiones de la teoría del hidrograma unitario instantáneo.

En el análisis final se ofrecen elementos para sostener que el desarrollo histórico de las distintas versiones de la teoría configura

dos grandes programas de investigación diferentes, uno determinístico y otro probabilístico.

(1) Rafael Seoane es Ingeniero Civil, orientación Hidráulica (U.B.A.), Magister en Planificación e Ingeniería de los Recursos Hidráulicos (Universidad Simón Bolívar, Venezuela), Investigador del Conicet y del Instituto Nacional del Agua y del Ambiente. Profesor Adjunto en la U.B.A. y U.N.C.P.B.A. Area de trabajo: modelos hidrológicos y análisis de sistemas hidrológicos. E-mail: rsseoane@mail.retina.ar.

(2) Alberto Moretti es Doctor en Filosofía (U.B.A.), Investigador Independiente del Conicet y Profesor Titular de Lógica (U.B.A.), Presidente de la Asociación Filosófica de la República Argentina.

La forma en que la precipitación produce una respuesta de caudal en un río parece, en un primer análisis, un proceso simple. Sin embargo, aún no está resuelto en forma completa el problema del entendimiento detallado de la respuesta de una cuenca a un impulso de precipitación. Esta situación acentúa el interés por elaborar una reconstrucción de los avances realizados en una de las teorías más usadas para representar el proceso de la transformación precipitación-caudal.

En este trabajo se presenta un análisis de la llamada teoría del hidrograma unitario instantáneo (HUI) aplicando conceptos del modelo de reconstrucción del cambio científico propuesto por Lakatos. Se consideran distintas versiones de la teoría que fueron seleccionadas por su interés científico y sus numerosas aplicaciones técnicas. Esas consideraciones acerca de la evolución histórica de la teoría proveen elementos que permiten aplicar el modelo de Lakatos y advertir su capacidad para conceptualizar el desarrollo de la teoría del HUI.

La teoría estudiada constituye una parte básica de la explicación del ciclo hidrológico, cuya comprensión ha alcanzado actualmente un nivel satisfactorio, aunque, desde luego, se continúan desarrollando investigaciones orientadas a mejorar las explicaciones propuestas.

El trabajo comienza con una breve descripción de la teoría del hidrograma unitario instantáneo geomorfoclimático desarrollada por Rodríguez-Iturbe et al. (1982), mostrando algunos cambios introducidos con respecto a la versión de 1979. También se indica la influencia de este desarrollo en otros trabajos que incluyen en su base metodológica la teoría del hidrograma unitario instantáneo.

Además, se discute la aplicación de modelos clásicos de reconstrucción del cambio científico a las distintas versiones de la teoría del HUI.

Las principales versiones de la teoría del hidrograma consideradas en este trabajo son las desarrolladas por: Nash (1960), Rodríguez-Iturbe y Valdés (1979) y Rodríguez-Iturbe et al. (1982).

Objetivos teóricos e importancia práctica de la teoría

Desde un punto de vista práctico la importancia que tiene la teoría del hidrograma unitario instantáneo, se relaciona con la necesidad de definir la función de transferencia precipitación-caudal usada en ingeniería para la estimación de caudales de diseño y la simulación y pronóstico de crecidas.

En numerosos casos es necesario construir obras hidráulicas en secciones en las cuales no se realizan mediciones de caudales y, en consecuencia, se debe definir la relación matemática que permita estimar los mismos a partir de las observaciones de precipitación.

En la actualidad existen diferentes modelos para estimar las crecidas máximas que son un dato fundamental para definir los parámetros de diseño de embalses y que fácilmente pueden integrarse en representaciones matemáticas para mejorar la explicación de los procesos hidrológicos. También la teoría permite estimar, para distintos eventos de precipitación, los hidrogramas asociados y estudiar los efectos que producen los caudales simulados. Otra aplicación, está asociada con los modelos de pronóstico de caudales que permiten estimar los hidrogramas de crecida y utilizan una representación continua para simular componentes seleccionadas del ciclo hidrológico que incluyen la relación precipitación efectiva-caudal directo.

Modelos de explicación

Una de las metas características de las ciencias empíricas es la explicación de fenómenos (particulares o generales) de diversos tipos. Y una de las formas paradigmáticas de explicación se conoce como modelo nomológico. Una explicación de este tipo es un argumento que responde a este esquema general:

$$(L_1, \dots, L_n), (C_1, \dots, C_k) \Rightarrow E$$

Donde las L_j son leyes, las C_j son enunciados de circunstancias particulares y E enuncia el fenómeno a explicar.

Cuando E es de carácter general (por ejemplo del tipo toda el agua que precipita en una cuenca escurre por un único punto de salida) las C_j pueden faltar. Cuando las L_j incluyen términos que aluden a entidades que no son observables tan directamente como las aludidas en E, las L_j se llaman leyes teóricas, en caso contrario, leyes experimentales.

Cuando la relación lógica que se da entre la conjunción de las L_j con las C_j , por una parte, y el enunciado E por la otra, es la relación de consecuencia deductiva, la aceptación de la explicación (es decir las L_j y las C_j) proporciona una razón incuestionablemente suficiente para haber esperado la ocurrencia de E. Se dice entonces que se ha logrado una explicación nomológico deductiva del fenómeno E.

Para cuando entre las L_j figura alguna ley de tipo estadístico, la conexión entre (L_j y C_j) y E no será, en general, deductiva sino inductiva. En estos casos, la aceptación de las premisas de la explicación sólo proporciona una razón para esperar E con un grado más o menos alto de probabilidad, no certeza.

La teoría del hidrograma unitario instantáneo

La teoría clásica del hidrograma unitario instantáneo relaciona la precipitación efectiva en una cuenca y el escurrimiento directo a su salida, considerando las hipótesis básicas de: linealidad en la transformación y concentración e invarianza de los parámetros del modelo. Ver, por ejemplo, Dooge (1959) y Rosso (1984).

En Dooge (1959) se ofrecen algunos lineamientos acerca de las características que debería tener la teoría del hidrograma unitario instantáneo. Esas observaciones son importantes porque permiten precisar que en ese año se habían explicitado algunas de las características que se buscaban alcanzar en la estructura final de la teoría. Estas pueden considerarse que indican una meta científica, especificando los problemas de partida y mostrando los defectos en ese estadio de la teoría.

Dice Dooge: "A partir de la primera propuesta realizada hace alrededor de veinticinco años (Sherman, 1932), la propuesta del hidrograma unitario para la predicción de caudales se ha convertido en una de las más poderosas herramientas de la hidrología aplicada. No obstante, ha mantenido un carácter empírico y ninguna base teórica general ha sido desarrollada para el método. La ausencia de una teoría general del hidrograma unitario ha limitado el alcance del método y hace que dependa, en su aplicación práctica, del juicio personal".

Más adelante señala: "Por otra parte, una teoría debería permitirnos predecir el efecto que sobre el hidrograma unitario instantáneo tienen variables como: la forma de la cuenca, la velocidad de las ondas de caudal, la cantidad y distribución del almacenamiento en el canal, la distribución no uniforme de la precipitación sobre la cuenca, el tamaño y la pendiente. Podría ser satisfactorio, también, si tal teoría permitiera: a) proveer un método objetivo simple para derivar el hidrograma unitario a partir de tormentas complejas y b) indicar un pequeño número de parámetros físicamente significativos que deberían estar correlacionados con las características de la cuenca para formar las bases de un sistema aplicable universalmente para la síntesis del hidrograma unitario" (pág. 241).

Resultará fructífero, siguiendo conocidas ideas de Lakatos, considerar que el problema central está configurado por las relaciones entre las teorías que la comunidad hidrológica trata como distintas versiones de una "misma teoría".

Para el análisis de este problema se considera que la denominada teoría del HUI constituye un programa de investigación formado por una secuencia de "modelos" y que su parte sustancial está conformada por: Dooge (1959), Nash (1960) y Rodríguez-Iturbe (1979, 1982).

El objetivo principal de este programa de investigación es

la determinación de la función de transferencia para el proceso precipitación efectiva-caudal directo. Otros importantes objetivos identificables son: incrementar la comprensión del proceso de transformación, facilitar la aplicación de la teoría en regiones con datos hidrológicos escasos para estimar caudales extremos y mejorar así los diseños en ingeniería hidráulica.

En lo que suele llamarse núcleo fuerte del programa de investigación se incluye la determinación de una función de transferencia. Sus características matemáticas específicas no forman parte, prima facie, de este núcleo.

Uno de los primeros desarrollos en la dirección sugerida por Dooge se debe a Nash (1960) y adopta la forma de un modelo explicativo nomológico-deductivo y ejemplifica los rasgos de las primeras versiones de la teoría del HUI. Una de sus principales características es la de recurrir a un modelo explicativo según el cual el enunciado del fenómeno a explicar (singular o general) se presenta como la conclusión de un razonamiento deductivo que entre sus premisas cuenta con enunciados de leyes generales.

La función de densidad de probabilidades (fdp) Gamma de dos parámetros, conocida como modelo de Nash, con-

sidera al comportamiento de la cuenca como una serie de embalses lineales iguales y es una forma analítica útil y ampliamente usada para la resolución de problemas de diseño de obras hidráulicas.

Este modelo depende de dos parámetros, es la solución analítica de una ecuación diferencial, y en su forma más general presenta la siguiente expresión:

$$h(t) = \frac{(t/k)^{n-1} \exp(-t/k)}{\Gamma(n)} [k\delta(n)]^{-1}$$

donde:

$h(t)$: hidrograma unitario instantáneo

n : número de embalses lineales

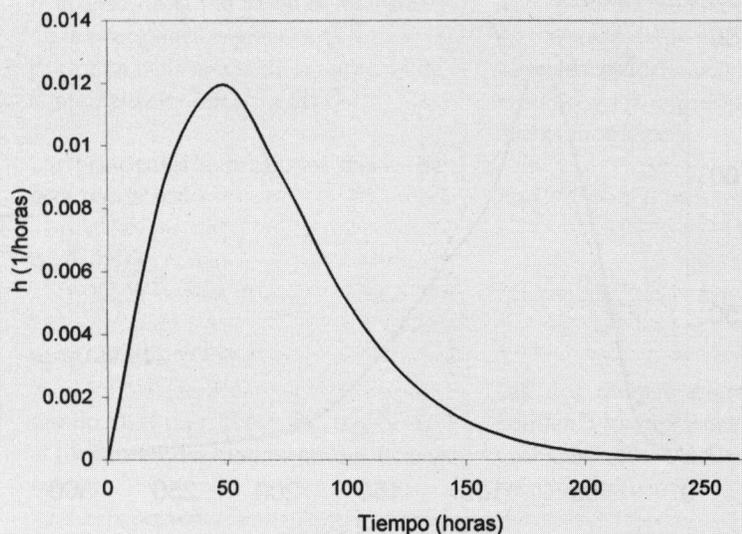
k : tiempo de permanencia en cada embalse

$\delta(\cdot)$: función gamma, siendo $\delta(n) = (n-1)!$, para valores enteros de n

La ecuación anterior es la expresión matemática de la función de transferencia entre la precipitación efectiva y el caudal directo y depende de dos parámetros: número de embalses lineales y tiempo de permanencia en cada uno de ellos.

En forma deductiva es posible definir la expresión del caudal máximo, q_p , con

Figura 1 Hidrograma unitario instantáneo (Modelo de Nash)



una relación que depende de la cantidad de embalses lineales (n), del tiempo de permanencia en cada embalse (k) y de la función Gamma.

Para los fines del análisis importa destacar las siguientes observaciones acerca de esta versión:

1) El núcleo fuerte del programa inicialmente aparece tratado como determinístico. Algo que se manifiesta en la utilización de una ecuación diferencial lineal en la representación del sistema para obtener una ecuación que defina la transformación precipitación efectiva-caudal directo.

2) Nash (1960) propone las siguientes ecuaciones para estimar los parámetros del modelo a partir de los eventos de precipitación-caudal observados en la cuenca.

$$M_1 = n.k$$

$$M_2 = n.(n+1).k$$

siendo M_1 y M_2 los momentos del HUI calculados alrededor del origen que permiten estimar los parámetros n y k del modelo.

La idea de Nash se completa al utilizar el modelo de regresión lineal para definir las ecuaciones que permitan estimar los dos parámetros del modelo en

cuenca sin datos. Esta componente de la teoría no pertenece al núcleo fuerte ya que sólo cumple la función de resolver ciertos problemas que se presentan al realizar aplicaciones particulares de la teoría.

En la figura N° 1 se presenta la forma del hidrograma unitario instantáneo obtenida con la aplicación de la ecuación de $h(t)$ a la cuenca del río Yabebiry, ubicada en la provincia de Misiones, con un área de 800 km^2 . Los parámetros estimados son $n = 3.2$ embalses y $k = 16.8$ horas. Estos valores fueron estimados a partir de datos observados de precipitación y caudal.

La figura N° 2 muestra las posibilidades de la teoría para simular los datos de caudal utilizando una tormenta seleccionada. En López y Seoane (1999) se presentan otros ejemplos de la aplicación del modelo de Nash y la propuesta de un enfoque probabilístico para la estimación del tiempo de permanencia, k .

Versiónes posteriores de la teoría

Luego que Nash ofreciera su modelo, y sin que eso pasase por un abandono de los objetivos básicos y del núcleo de la teoría, comenzaron a desarrollar-

se versiones que incluyeron modelos explicativos probabilísticos: Fundamentalmente, las versiones denominadas hidrogramas geomorfológico (HUIG) y geomorfoclimático (HUIGC).

Hidrograma unitario instantáneo geomorfológico

A partir, de la experiencia obtenida mediante aplicaciones prácticas de la teoría e investigaciones posteriores, se pudieron definir otras metas y en consecuencia, hacia fines de la década del '70, las investigaciones se orientaron hacia:

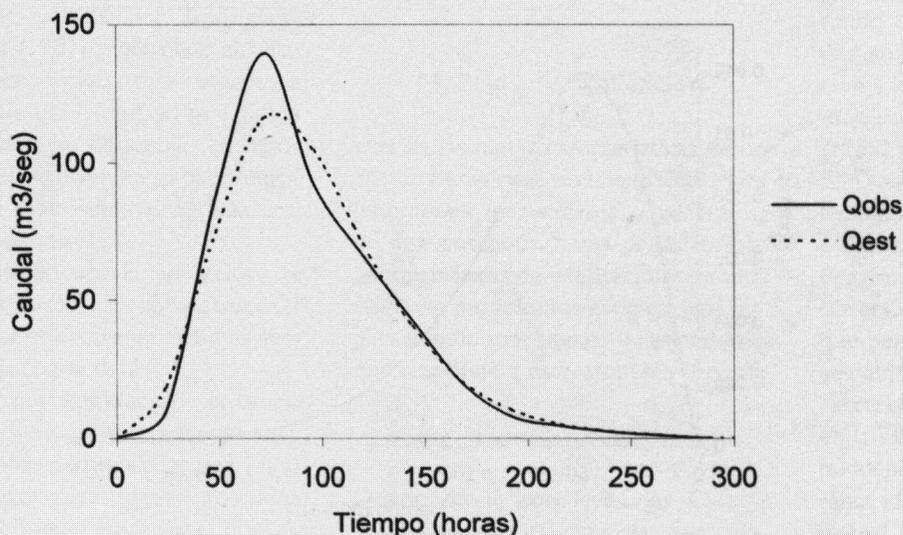
- **Representar la influencia de la estructura de la cuenca en las características dinámicas del escurrimiento.** Este objetivo se relaciona directamente con citadas observaciones de Dooge (1959) y la solución consistió en identificar y definir las características geomorfológicas (utilizando trabajos de Horton y Strahler) y de conducción de la red de drenaje que influyen en la forma del escurrimiento en una cuenca.

- **Representar la influencia del clima.** El proceso de transformación precipitación-caudal presenta una no linealidad observada en distintas investigaciones (ver Mins-hall, 1960) por lo tanto se hizo necesario encontrar una representación matemática más adecuada. En consecuencia, una teoría mejorada debería tener en cuenta la variabilidad observada en el caudal y el tiempo al máximo con la intensidad de la precipitación efectiva.

En referencia al primer objetivo se puede señalar que la propuesta de Rodríguez-Iturbe y Valdés (1979), modelo del hidrograma unitario instantáneo geomorfológico, presenta las expresiones analíti-

Figura 2

Hidrogramas observado y simulado Río Yabebiry



cas de la respuesta de una cuenca en términos de la geomorfología, y propone una interpretación del hidrograma unitario instantáneo como una función de densidad de probabilidades del tiempo de viaje del agua en la cuenca. En el modelo geomorfológico las características geomorfológicas relevantes se cuantifican utilizando los números de Horton, quien propuso un esquema de ordenamiento a partir de las leyes de número de cursos, longitudes y áreas.

En este modelo la variable que debe estimarse es la velocidad del escurrimiento (V) y los otros componentes son R_A , R_b , R_L y L_Ω que se determinan a partir de la información cartográfica de la cuenca. Algunos de los experimentos numéricos realizados tenían como objetivo precisar la importancia que la variación de la velocidad del escurrimiento puede tener sobre la forma final del (HUIG).

Las expresiones finales de esta teoría son:

$$q_p = 1.31 R_L^{0.43} \frac{V}{L_\Omega}$$

$$t_p = 0.44 \left(\frac{R_b}{R_A} \right)^{0.55} R_L^{-0.38} \frac{L_\Omega}{V}$$

- donde:
- q_p : caudal máximo (I/T)
 - t_p : tiempo máximo (T)
 - R_A : relación de áreas
 - R_b : relación de bifurcación
 - R_L : relación de longitudes
 - L_Ω : longitud del curso de mayor orden (L)
 - V: velocidad correspondiente al máximo de la función respuesta (L/T)
 - Ω : orden de la cuenca.

La principal dificultad en la aplicación de la teoría del hidrograma unitario instantáneo geomorfológico es la incertidumbre en la estimación de la velocidad, la cual debe ser subjetivamente evaluada (Bras, 1990).

Hidrograma unitario instantáneo geomorfoclimático

Con el propósito de resolver este pro-

blema Rodríguez-Iturbe et al. (1982) proponen la teoría del hidrograma unitario geomorfoclimático que relaciona la velocidad con la intensidad y la duración de la precipitación efectiva.

En esta teoría se utiliza una nueva variable que es la intensidad de la precipitación efectiva (i_e) y se incluyen las anteriores características geomorfológicas y de la conducción hidráulica.

Rodríguez-Iturbe et al. (1982) señalaba la importancia de introducir las variables aleatorias i_e (precipitación efectiva) y t_e (duración de la precipitación efectiva): "El tiempo y el caudal máximo de la teoría del HUI geomorfoclimático son variables aleatorias cuya distribución depende de la geomorfología de la cuenca y del clima especificado con las distribuciones de i_e y t_e " (pág. 878).

Estos conceptos son significativos porque conducen a definir las funciones de densidad de probabilidades del tiempo y del caudal máximo a partir de considerar las características probabilísticas del proceso de precipitación.

Estos autores proponen que la intensidad y la duración de la precipitación efectiva son variables aleatorias independientes con función de densidad de probabilidades exponencial:

$$f(i_e) = \delta e^{-\delta i_e} \quad i_e > 0$$

$$f(t_e) = \beta e^{-\beta t_e} \quad t_e > 0$$

- donde:
- δ : inversa de la media de la intensidad de la precipitación efectiva (T/L)
 - β : inversa de la media de la duración de la precipitación efectiva (I/T).

Las principales expresiones finales de esta teoría son:

$$q_p = \frac{0.871}{\Pi_i^{0.4}}$$

$$t_p = 0.585 \Pi_i^{0.4}$$

siendo $\Pi_i = f(L_\Omega, i_r, A_\Omega, R_L, \alpha_\Omega)$ y α_Ω el parámetro del modelo de onda cinemática.

La teoría presenta las siguientes expresiones seleccionadas para el caudal máximo y el tiempo asociado para el

hidrograma de salida:

$$Q_p = 2.42 \frac{i_e A_\Omega t_e}{\Pi_i^{0.4}} \left(1 - \frac{0.218 t_e}{\Pi_i^{0.4}} \right)$$

$$T_p = 0.585 \Pi_i^{0.4} + 0.75 t_e$$

La importancia de la nueva teoría se revela en su capacidad predictiva y su consiguiente utilidad práctica, dado que permite estimar el caudal a la salida de una cuenca a partir de información climática y geomorfológica. Así, se puede definir el HUI en cuencas con datos escasos ya que no utiliza eventos precipitación-caudal para estimar los parámetros de la transformación.

Otro aspecto destacable que está asociado con las expresiones presentadas, se relaciona con su dependencia de la precipitación efectiva (i_e y t_e) que es la entrada al sistema. Esta característica es muy importante ya que indica un abandono de la propiedad de linealidad que utilizaban las versiones tradicionales del hidrograma unitario instantáneo, ver Bras (1990).

El cambio más notable entre las versiones primeras y últimas ha sido la incorporación en éstas de aspectos probabilísticos en las explicaciones. En particular, la teoría del hidrograma unitario instantáneo geomorfoclimático recurre al esquema de explicación deductivo-estadístico, Hempel (1988), cuando utiliza, por ejemplo, la teoría de la función de densidad derivada y un modelo de procesos estocásticos para obtener en forma deductiva las funciones de densidad de probabilidades para las variables caudal máximo y tiempo al máximo y las expresiones de sus primeros momentos.

$$f(q_p) = 3.534 \Pi_i^{1.5} q_p^{-1.5} \exp^{-1.412 \Pi_i q_p^{2.5}}$$

$$f(t_p) = \frac{0.656 \Pi_i}{t_p^{3.5}} \exp\left(\frac{-0.262 \Pi_i}{t_p^{2.5}}\right)$$

Las dos últimas expresiones corresponden a las funciones de densidad de probabilidades del caudal máximo y tiempo al máximo.

Comparación de las distintas teorías del HUI

El influyente epistemólogo Karl Popper ha defendido la tesis de que sólo las explicaciones deductivas son científicamente aceptables. Según él, la ciencia procede mediante conjeturas audaces que generan teorías distintas, que luego son sometidas a contrastación empírica, esto es, a una crítica enderezada a encontrar consecuencias deductivas falsas de esas teorías, a fin de rechazarlas o de seleccionar las que parezcan más verosímiles.

Popper llama grado de corroboración al indicador de verosimilitud de una teoría. Este indicador resume el

tipo, rigor y resultado de las contrastaciones efectuadas.

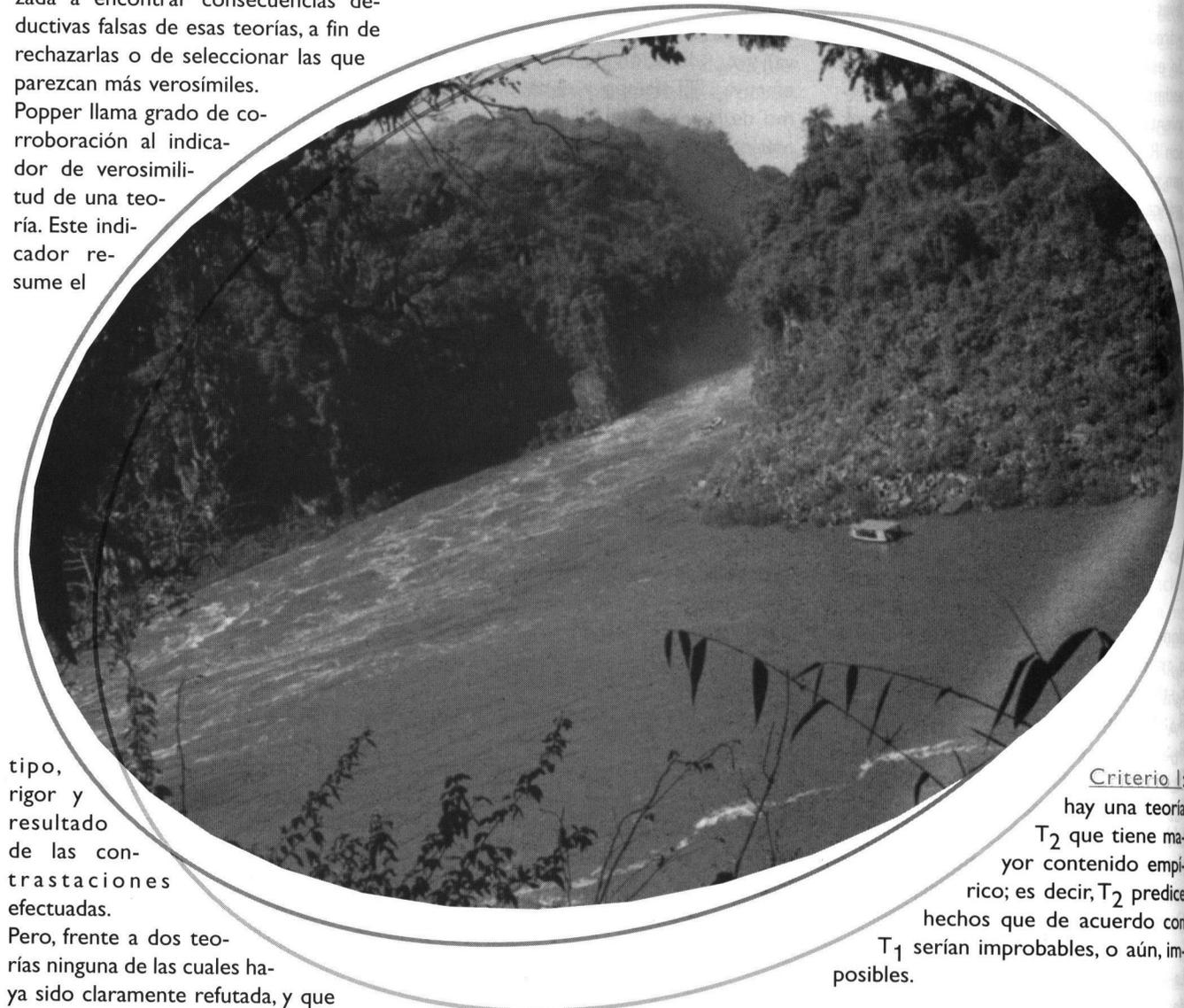
Pero, frente a dos teorías ninguna de las cuales haya sido claramente refutada, y que pretendan explicar los mismos fenómenos, la perspectiva popperiana, en general, no permite la elección que sin embargo alienta. El concepto clave para la comparación, el concepto de "mayor contenido empírico" de una teoría respecto de otra, no tiene una caracterización suficientemente definida para ser útil.

Imre Lakatos modificó sustancialmente

el enfoque popperiano, intentando ajustarlo mejor a la práctica científica concreta. Su análisis puede hacerse más receptivo a explicaciones no deductivas y concede un peso epistemológico importante al estudio de la evolución histórica de las teorías.

Es característico de este punto de vista el desplazar la unidad de análisis desde las teorías individuales, más o menos definidas, hacia lo que Lakatos

de investigación en que se insertan. En particular, depende de si el programa genera predicciones novedosas (programa progresivo), o simplemente produce explicaciones de fenómenos casualmente descubiertos o descubiertos por otros programas de investigación alternativos (programa regresivo). Según el modelo propuesto por Lakatos, una teoría T_1 , debería abandonarse si:



Criterio 1: hay una teoría T_2 que tiene mayor contenido empírico; es decir, T_2 predice hechos que de acuerdo con T_1 serían improbables, o aún, imposibles.

Criterio 2: T_2 reproduce las explicaciones exitosas de T_1 , vale decir, el contenido de T_2 incluye el contenido no refutado de T_1 .

Criterio 3: hay corroboración parcial del contenido propio de T_2 .

Por otra parte, al adoptar una línea lakatosiana de análisis, hay que distinguir

llamó programas de investigación, constituidos por series temporales de teorías que comparten un núcleo central y ciertos procedimientos heurísticos que guían las modificaciones admisibles de las teorías no centrales. La adopción de una u otra de dos teorías en competencia depende, ahora, de las características de los programas

entre el reemplazo de T_1 por T_2 , cuando T_2 es básicamente distinto (forma parte de un programa de investigación diferente) y el reemplazo de T_1 por T_2 cuando T_2 es básicamente una modificación de T_1 (ambas pertenecen al mismo programa de investigación). El factor crucial para establecer la diferencia reside en la identificación de las tesis centrales que se han mantenido a lo largo de las elaboraciones teóricas (en general una secuencia temporal de teorías) que precedieron a la formulación de T_1 y T_2 . Otro factor, pero importante para la caracterización de programas diferentes, pero útil también en la tarea de determinar el núcleo central de un programa, consiste en la detección de los paradigmas de solución de problemas y de los principios y creencias de índole más o menos general e imprecisa que parecen gobernar la actividad de reformulación de las teorías examinadas.

En el caso que nos ocupa, al realizar la comparación entre N (modelo de Nash) y HUIGC, (modelo del hidrograma unitario instantáneo geomorfoclimático) podemos observar:

a) La teoría del HUIGC permite predecir fenómenos nuevos respecto de los que N explica, fenómenos asociados a la característica no lineal que presenta la relación precipitación-caudal donde la importancia de su predicción fue señalada por Minshall (1960).

b) La teoría del HUIGC también explica (dentro de los márgenes del error observacional) los fenómenos explicados por N.

Queda por indagar el comportamiento de HUIGC en relación con el tercer criterio. Al respecto conviene observar que la base empírica de HUIGC es distinta de la de N por cuanto, a diferencia de la correspondiente a esta última, la de HUIGC presupone el modelo de onda cinemática y un modelo estocástico de precipitación.

Los modelos de precipitación que representan esta variable con un enfoque probabilístico tienen amplio uso a partir de trabajos, como el de Eagleson (1972), quien representó la intensidad promedio de precipitación

puntual y el tiempo de duración de las tormentas con funciones de distribución exponencial. Esta representación fue usada, posteriormente, en distintas investigaciones. Ver, por ejemplo, Díaz-Granados et al. (1983).

Ambas teorías tienen suficiente corroboración independiente. En cuanto a la existencia de corroboraciones del contenido específico de HUIGC se pueden señalar las siguientes:

a) Existe un conjunto de predicciones propias de HUIGC que fueron comparadas con un modelo hidrológico completo no lineal con resultados satisfactorios (Rodríguez-Iturbe et al., 1982).

b) Una corroboración indirecta de HUIGC se obtiene de su integración con otras teorías configurando estructuras explicativas que mejoran la comprensión del proceso de transformación precipitación-caudal.

Como ejemplo de corroboración indirecta se puede señalar la teoría de la función de distribución derivada de caudales que incluye en su estructura la del hidrograma unitario instantáneo geomorfoclimático. Esta teoría integradora presenta una explicación de tipo deductivo-estadístico configurada por los siguientes modelos:

- Modelo de precipitación.
- Modelo de infiltración.
- Modelo del HUI para estimar la respuesta de la cuenca.

A partir de la primera versión, que se debe a Eagleson (1972), existen otras que han incorporaron distintos avances, incluidas diferentes versiones del HUI. Para el análisis se pueden citar las últimas versiones que a partir de Hebson y Wood (1982) utilizaron el (Geomorfológico), y ya Díaz-Granados et al. (1984), Raines y Valdés (1992) y Seoane y Valdés (1993) usaron el Geomorfoclimático.

La utilización de HUIGC en la solución de un problema abierto y en plena discusión por la comunidad hidrológica, como es el de estimar la función de distribución derivada de caudales, es una señal importante de la creciente aceptación de esta teoría y, en general, de la línea de investigación en que se inscribe.

Observaciones finales

Las primeras teorías del hidrograma unitario (Dooge 1959, Nash 1960) tenían carácter determinístico y lineal y se construyeron incluyendo analogías con sistemas conocidos: embalses y canales lineales. Las posteriores de Rodríguez-Iturbe (1979) y Gupta (1980), en cambio, no fueron guiadas por analogías de esta clase y son del tipo probabilístico. La HUIGC (Rodríguez-Iturbe, 1982) tampoco utiliza esas analogías y es probabilística.

Bajo el supuesto de que el comportamiento probabilístico se interprete de modo realista, el desarrollo histórico de las teorías del hidrograma unitario instantáneo parece exhibir un primer programa de investigación (PD) erigido alrededor de la posibilidad de una teoría explicativa determinística. Y un segundo programa (PP) que concibe en términos probabilísticos la naturaleza de los procesos físicos del tipo precipitación-caudal.

La hipótesis de que el carácter determinístico de las primeras teorías era puramente instrumental y provisorio y que, desde el comienzo se consideró que la naturaleza de los procesos físicos estudiados era probabilística, es una hipótesis poco plausible.

La idea de que existe un único programa unificado obligaría a considerar que su núcleo básico es poco más que el mero propósito de encontrar alguna ley explicativa. En efecto, más allá de su carácter de utilizar las mismas variables para definir la entrada y la salida de la función de transferencia precipitación-caudal, hay escasa proximidad entre las ecuaciones centrales de las teorías del tipo N y del tipo de HUIGC.

Cabe destacar que el PP no alcanzó aún, en la resolución de problemas, el arraigo que tienen las teorías pertenecientes al PD que, como N, aún se emplean en ingeniería. Sin embargo, hemos visto, las teorías del PP exhiben mayor capacidad para integrarse en teorías de vasto alcance teórico y no ofrecen mayores dificultades para su aplicación práctica que las observadas en el PD.

Por otra parte, tampoco puede decir-



se aún, que el PD está suficientemente desarrollado como para que sea razonable creer que, a mediano plazo, no conducirá a una teoría al menos tan satisfactoria, desde el punto de vista de la investigación teórica, como huicg.

Hay motivos, en consecuencia, para considerar que estamos frente a dos programas alternativos uno de los cuales (PD) parece entrar en una fase regresiva. Aunque el hecho de que PD aún permita soluciones prácticas, junto con el hecho de que el otro programa (PP), si bien en fase progresiva, aún está en desarrollo teórico, justifican la situación actual donde ambos están vigentes aunque en conflicto teórico.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1- Benjamin, J.R. y C.A. Cornell. (1970). Probability, Statistics Decision for Civil Engineers. Mc Graw-Hill. New York.

2- Bras, R. (1990). Hydrology. An Introduction to Hydrological Science. Addison-Wesley.

3- Cadavid, L., J.T.B.Obeysekera y H.W.Shen.(1991). "Flood-frequency derivation from kinematic wave." Journal of Hydraulic Engineering. Vol 117, N 4 489-510.

4- Clark,C.O. (1945). "Storage and the unit hydrograph." Amer. Soc. Civ. Engin. 110. 1416-1446.

5- Díaz-Granados, M.A., J.B.Valdés y R.L.Bras.(1984). "A physically based flood frequency distribution." Water Resources Research. 20 (7), 995-1002.

6- Dooge, J.C.I.(1959). "A general theory of the unit hy-

drograph." Journal of Geophysical Research. 6(2). 241-256.

7- Dooge, J.C.I. (1988) "Hydrology past and present." Journal of Hydraulic Research. 26 (1) 5-25.

8- Eagleson, P.S. (1972) "Dynamics of flood frequency" Water Resources Research 8 (4), 878-898.

9- Gupta, V. K., Waymire, E. y C.T.Wang (1980). "A representation of an instantaneous unit hydrograph from geomorphology" Water Resources Research. 16 (5): 855-862.

10- Hebson, C. y E.F.Wood (1982) "A derived flood frequency distribution using Horton orden ratios" Water Resources Research 18 (5): 1509-1518.

11- Hempel, C.G.(1988). La Explicación Científica, Editorial Paidós Studio Básica, 1a. Reimpresión, Madrid, España.

12- Klimovsky, G. (1971). "Estructura y validez de las teorías científicas" Métodos de investigación en Psicología y Psicopatología. Nueva Visión. Buenos Aires.

13- Lakatos, I. (1978), The Methodology of Scientific Research Programmes. Cambridges University Press.

14- Lakatos, I. (1987). Historia de la Ciencia y sus Reconstrucciones Racionales. Editorial Tecnos, 1a. Reimpresión, Madrid, España.

15- López, P. y R. Seoane (1999). "Un enfoque probabilístico para la estimación del parámetro de escala del modelo de Nash" Revista Ingeniería Hidráulica. México. Vol. XIV, Número 2, 5-10.

16- Losse, J. (1987). Introducción Histórica a la Filosofía de la Ciencia. Editorial Alianza Universidad. 4a. Reimpresión. Madrid, España.

17- Minshall, N.E. (1960). "Predicting storm run-off on small experimental watersheds." Journal Hydraulic. Div. Amer. Soc. Civil Eng. 86 (HY8): 17-38.

18- Nash, J.E.(1960). "A unit hydrograph study with particular reference to British catchments." Proc. Institution of Civil Engineers. 17: 249-282.

19- Newton-Smith, W.H.(1981). La Racionalidad de la Ciencia. Ediciones Paidós Studio Básica, 1a. Edición castellana. España.

20- Rodríguez-Iturbe, I. y J.B. Valdés (1979). "The geomorphologic structure of hydrologic response." Water Resources Research. 15 (6): 1409-1420.

21- Rodríguez-Iturbe, I., Devoto, G.A. y J.B. Valdés. (1979). "Discharge response analysis and hydrologic similarity: The interrelation between the geomorphologic IUH and the storm characteristics" Water Resources Research. 15 (6): 1435-1444.

22- Rodríguez-Iturbe, I. y M. González-Sanabria (1982). "A geomorphoclimatic theory of the Instantaneous Unit Hydrograph." Water Resources Research. 18 (4): 877-886.

23- Rosso, R. (1984). "Nash model relation to Horton orden ratios." Water Resources Research. 20 (7): 914-920.

24- Schaake, J.C. (1971). Deterministic urban runoff model. Colorado State University. Fort Collins.

25- Seoane, R.S. (1991). "Una reconstrucción epistemológica del desarrollo de la teoría del hidrograma unitario instantáneo" Tesis de Maestría. Universidad de Belgrano. Argentina.

26- Seoane, R.S. y J.B. Valdés. (1993) "A derived flood frequency distribution for the ungaged catchments." Proceedings to the Annual Conference of the Water Resources Planning and Management Division of the American Society of Civil Engineering. Págs. 384-387. Seattle. Estados Unidos.

27- Sherman, L.K. (1932). "Stream flow from rainfall by the unit-graph method." Engr. News. Rec, 108, 501-505.

28- Valdés, J.B., Fiallo, Y. e I. Rodríguez-Iturbe. (1979). "A rainfall-runoff analysis of the geomorphologic IUH." Water Resources Research. 15 (6): 1421-1434.

29- Ven Te Chow, D. Maidment y L.W. Mays (1994) Hidrología Aplicada. Mc Graw-Hill.

LA QUÍMICA NUCLEAR ARGENTINA EN LA DÉCADA DEL CINCUENTA Y EL DESCUBRIMIENTO DE NUEVOS RADIOISÓTOPOS

..... Por Renato Radicella*

El descubrimiento de la "radiactividad artificial" realizado por los esposos Joliot-Curie en 1934 abrió un nuevo horizonte a la investigación nuclear.

Hasta ese momento, los únicos materiales radiactivos conocidos se encontraban en la Naturaleza y eran isótopos de los últimos doce elementos de la tabla periódica comprendidos entre el talio y el uranio. Irène y Frédéric Joliot-Curie demostraron que bombardeando aluminio con partículas alfa se obtenía un isótopo radiactivo del fósforo. De esta forma se hizo evidente la posibilidad de producir isótopos radiactivos de los elementos estables mediante reacciones nucleares y comenzó la búsqueda de nuevos radioisótopos en los principales centros que se dedicaban a la investigación de la radiactividad. El campo se abrió aún más con el descubrimiento de la fisión nuclear en 1939, cuando Hahn y Strassmann demostraron que el uranio bombardeado con neutrones se partía en dos fragmentos pesados. Sabemos ahora que en la fisión del uranio con neutrones térmicos se forman isótopos radiactivos de los treinta y seis elementos comprendidos entre el cinc

y el disprosio.

Quienes estudiaban los materiales radiactivos y los efectos químicos de las radiaciones, se autodefinían como "químicos nucleares" o "radioquímicos". La identificación de isótopos radiactivos formados en reacciones nucleares fue tarea de los "radioquímicos", como lo había sido el estudio de los elementos químicos radiactivos desde principios del siglo.

En ese entonces el campo de actividades de los radioquímicos era muy amplio, puesto que incluía el trabajo con isótopos radiactivos y el uso de trazadores radiactivos en las distintas ramas de la ciencia.

A principio de los '50 la química nuclear estaba en sus comienzos en la Argentina. Los trabajos con radio efectuados en las universidades de La Plata y de Buenos Aires en las décadas del '30 y del '40 tocaban sólo los aspectos físicos de la radiactividad. No se habían efectuado estudios químicos relacionados con el radio y sus descendientes.

En 1949, con la llegada de W. Seelmann-Eggebert a la Universidad de Tucumán (UNT) se había empezado a trabajar en la química de los elementos

radiactivos y en la separación e identificación de los isótopos radiactivos naturales. Con medios muy precarios se había logrado separar radioisótopos naturales de período de semidesintegración corto (pocos minutos) y verificar algunas de sus características físicas.

En septiembre de 1951 Seelmann-Eggebert fue contratado por la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), que había sido fundada el año anterior. Después de compartir por un año su tiempo entre Tucumán y Buenos Aires, en 1952 se trasladó definitivamente a la Capital Federal. Ya la CNEA había podido comprar algunos equipos electrónicos básicos y se había instalado en lo que es ahora su Sede Central en la Avenida del Libertador. (Sobre esta primera etapa en la UNT y en la CNEA, ver Ciencia e Investigación, 45, 34-37, 1992)

En Buenos Aires se recurrió a los minerales de uranio y de torio para obtener materiales radiactivos, como se había hecho en Tucumán en su momento. Se pusieron a punto los primeros métodos de separación y purificación de uranio, continuando con los

(*) Renato Radicella es Doctor en Química de la Universidad Nacional de Tucumán. Efectuó estudios de post-gradó sobre la fisión nuclear en la Universidad de Oslo, Noruega (1958/59) y se desempeñó como Investigador Invitado del Centro Nuclear de Saclay, Francia (1966/67). 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 (1990/97).

trabajos comenzados en la UNT, y se elaboró un método radioquímico para la determinación de uranio en minerales y de ^{235}U en uranio natural. Al mismo tiempo se realizaron las separaciones de los isótopos radiactivos naturales, especialmente los de período corto, como parte del entrenamiento radioquímico básico.

En muy poco tiempo la situación mejoró considerablemente. El grupo de Seelmann-Eggebert contaba ya en 1953 con una decena de personas, casi todos químicos o estudiantes de química, y la CNEA había instalado su primer acelerador, un Crookroft-Walton en cascada, de 1,2 MV, que se utilizó para producir neutrones. Con ello empezó la búsqueda de nuevos radioisótopos y la determinación de propiedades nucleares de isótopos ya conocidos.

La adquisición de un sincrociclotrón y su puesta en marcha en septiembre de 1954, colmó las expectativas del grupo de química nuclear. Ya estaba a su alcance la realización de reacciones nucleares con deuterones de hasta 28 MeV y con partículas alfa de hasta 56 MeV. La energía de las partículas y la

corriente del haz, altas para la época, hacían del sincrociclotrón de Buenos Aires una de las pocas máquinas en el mundo particularmente aptas para la búsqueda de nuevos nucleidos.

Otro de los factores muy favorables a la investigación en química nuclear fue la existencia en la CNEA de un grupo muy activo en electrónica e instrumentación. Dirigido por el Dr. Kurt Fränz, un electrónico alemán, el grupo desarrollaba y construía equipos de detección y medición de radiaciones que estaban a la vanguardia de la electrónica nuclear del momento. Gracias a este grupo, los radioquímicos argentinos podían disponer de equipos de medición que todavía no eran comerciales en ninguna parte del mundo y que estaban diseñados especialmente para el trabajo con isótopos radiactivos de período corto.

Coincidió también que en la CNEA se había formado un grupo de jóvenes físicos dedicados a la espectrometría nuclear y que estaba muy interesado en la teoría del núcleo atómico, tanto desde el punto de vista experimental como en sus aspectos teóricos. La relación de este grupo con el de química

nuclear era muy intensa y fructífera. Los "coloquios" sobre los trabajos en curso y sobre temas de física y química nucleares eran semanales y, por lo general, muy acalorados.

El ambiente en su conjunto era extremadamente favorable a una investigación de buen nivel, a la que contribuyeron los aportes de especialistas extranjeros de renombre que visitaron la CNEA y colaboraron con el grupo de radioquímica. Entre ellos se contaron los radioquímicos Aten de Holanda, Bouissières de Francia, Götte de Alemania, Maddock de Inglaterra y físicos como Hittmair de Austria.

Formaban el grupo de radioquímica en los años cincuenta los químicos Sara Abecasis, E. Alvarez, L. Anghileri, G. B. Baró, F. Batistelli, H. Carminatti, J. Flegenheimer, O. O. Gatti, C. Henkel, Sonia J. Nassiff, N. Nussis, J. Pahissa-Campá, María Cristina Palcos, P. Rey, E. Ricci, V. Rietti, Josefina Rodríguez, R. Rodríguez-Pasqués y el autor del presente trabajo. Formaban también parte del grupo los médicos D. Beninson y F. Mas, y la física Ilse Fränz. Los radioquímicos estaban secundados por asistentes de laboratorio muy eficientes y dedicados, entre ellos E. Belis, Olga Casanova, Josefina Crespo, Ana María Ferrari, Alicia Medina e Irene Zabala.

Los trabajos del grupo cubrían un espectro de actividades muy amplio. Una parte se dedicaba a la química del uranio y del torio y a la separación de estos elementos de sus minerales. El mismo sector continuaba también con el estudio de los productos originados en la desintegración natural de estos elementos. Otra parte del grupo determinaba las secciones eficaces de reacciones nucleares, los rendimientos de la fisión del uranio para distintas energías de partículas y las relaciones entre isómeros formados en una misma reacción nuclear en función de la energía. Al mismo tiempo se producían y purificaban radionucleidos para el grupo de espectroscopía nuclear que se había creado en la CNEA.

No se descuidaban tampoco las aplicaciones de los radioisótopos como trazadores y la metrología de las radiaciones. Los radioquímicos colaboraban con laboratorios de otras instituciones

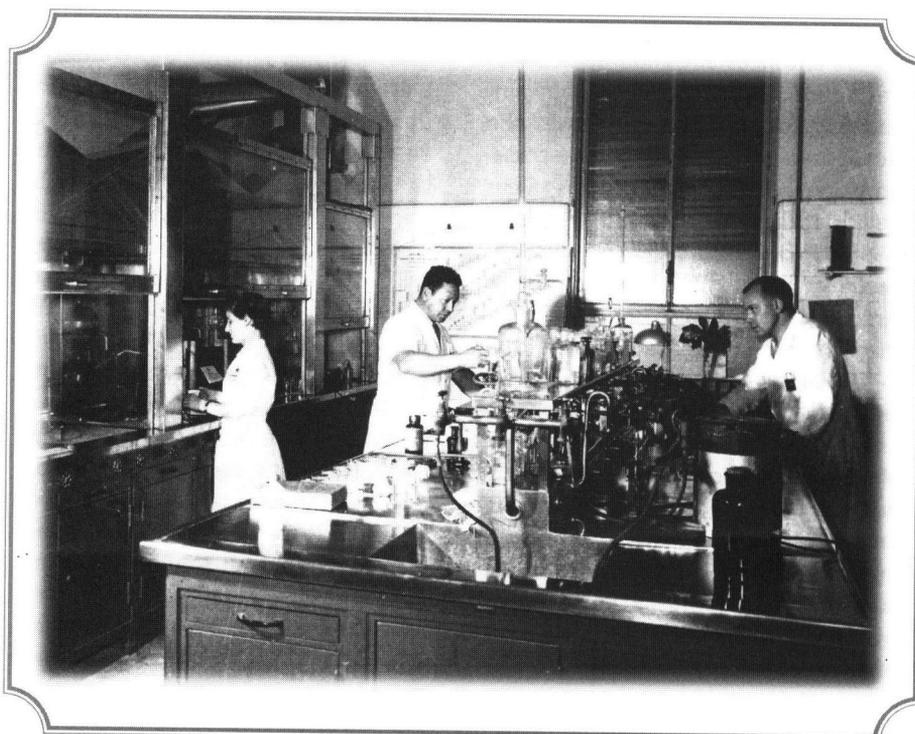


Foto 1 - Uno de los laboratorios de radioquímica de la CNEA, hacia 1956.
De izquierda a derecha: Alicia Medina, E. Belis y N. Nussis.

de investigación que usaban materiales radiactivos y con algunos hospitales, proveyéndoles radioisótopos y asesorándolos sobre sus aplicaciones. Se creó también, en 1953, la cátedra de química nuclear de la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad de Buenos Aires, que se dictaba en los laboratorios de la CNEA.

Sin embargo, el tema que absorbía el grueso de los esfuerzos del "Grupo de Buenos Aires", nombre con que se conocía en el exterior al grupo de radioquímicos argentinos, fue la búsqueda de nuevos radionucleidos y la determinación de sus propiedades.

El tema se consideraba prioritario en el campo de la investigación nuclear. La identificación de los nucleidos existentes y el conocimiento de sus propiedades era fundamental para el desarrollo de una teoría del núcleo atómico, teoría en la cual estaban trabajando en el mundo los mejores cerebros del momento. Lo que se conocía sobre los núcleos existentes era todavía muy escaso e impreciso. Aparte de los nucleidos radiactivos próximos a los isótopos estables, cuyas propiedades por lo general debían ser estudiadas más a fondo, se desconocía la mayor parte de los núcleos relativamente alejados de la zona de estabilidad. Es así que la búsqueda de nuevos isótopos y la determinación de sus propiedades fue una de las tareas emprendidas por los quí-

micos y los físicos nucleares de muchos países.

En la Argentina, la disponibilidad del sincrociclotrón y la existencia de un grupo radioquímico bien entrenado en separaciones rápidas (puesto que era de esperar que los isótopos desconocidos tuvieran períodos cortos), facilitó mucho la tarea de búsqueda. El enorme entusiasmo y la dedicación del grupo de jóvenes guiado por Seelmann-Eggebert dieron rápidamente sus resultados. Ya en la Primera Conferencia de Ginebra sobre las Aplicaciones Pacíficas de la Energía Atómica en septiembre de 1955, a dos años de la instalación en Buenos Aires del acelerador Crockroft-Walton y a menos de un año de la del sincrociclotrón, la Argentina comunicó el descubrimiento de una decena de nuevos radioisótopos. El hecho causó sorpresa y algo de desconfianza. Eran todavía recientes las noticias sobre los trabajos de Ronald Richter en la isla Huemul y en el exterior lo nuclear de la Argentina olía a impostura. Afortunadamente el renombre de Seelmann-Eggebert en los medios académicos europeos y la discusión de los trabajos durante la Conferencia, aventaron las dudas. Se comenzó a dar crédito a la existencia de los isótopos descubiertos en Buenos Aires, existencia que al poco tiempo fue confirmada por investigadores de otros países.

En 1955 Seelmann-Eggebert dejó la Argentina para restablecerse en Alemania. A pesar de ello, los trabajos en búsqueda de nuevos radioisótopos continuaron con toda intensidad. A principios de los años sesenta el total de los nucleidos descubiertos en Buenos Aires era de veinte.

En el cuadro I se consigna la nómina de los isótopos descubiertos en la Argentina. Se puede observar que más de la mitad de ellos tiene un período de semidesintegración de menos de 10 minutos, lo que habla de la habilidad alcanzada en las separaciones rápidas, que en esa época se efectuaban por procedimientos químicos convencionales. Esto último es particularmente notable en el caso de los isótopos hallados como producto de la fisión nuclear. En este caso era necesario separarlos con gran pureza de un conjunto de más de treinta elementos químicos radiactivos.

La segunda y tercera columnas del cuadro muestran respectivamente los períodos de semidesintegración encontrados en su momento en Buenos Aires y los que ahora (Karlsruher Nuklidkarte, 1995) se asignan a cada uno de los radioisótopos hallados. Es asombrosa la proximidad de los valores si se piensa en lo primitivo de los métodos y equipos de medición utilizados en la época y en las bajas actividades que se obtenían con los aceleradores de partículas entonces disponibles.

Debido a la complejidad de los espectros de desintegración, en el cuadro no se han anotado las energías de las radiaciones beta y gamma de los nuevos radioisótopos. La energía de las principales radiaciones emitidas se determinaba para contribuir a la identificación del nuevo nucleido. Hoy nos sorprende ver la coincidencia de los datos de energía obtenidos en aquel momento con los valores determinados años después utilizando métodos e instrumental muy sofisticados. La energía máxima de la radiación beta se determinaba por absorción en láminas de aluminio de distintos espesores y la energía de la radiación gamma, en los primeros años, por absorción en plomo. Posteriormente, a partir de 1955, la determinación se llevó a cabo



Foto 2 - Uno de los laboratorios de mediciones de radiactividad en la CNEA, hacia 1956. De izquierda a derecha: R. Radicella, G.B. Baró y Josefina Rodríguez.

Nucleido	T 1/2 encontrado	T 1/2 actual	Autores
Fe-61	5,5±0,5 m	6,0 m	N.Nussis, J.Pahissa-Campá, E.Ricci
Hf-183	64±3 m	64 m	J.Flegeneimer, O.O.Gatti
Mo-105	< 2 m	35,6 s	J.Flegeneimer
Os-195	6,5 m	6,5 m	G.B.Baró, P.Rey
Re-189	23 h	24,3 h	G.B.Baró, J.Flegeneimer, M.Virsoo
Re-190m	2,8 h	3,0 h	G.B.Baró, J.Flegeneimer
Rh-106m	1,95 h	2,2 h	G.B.Baró, W.Seelmann-Eggebert, I.Zabala
Rh-108	18±2 s	16,8 s	G.B.Baró, P.Rey, W.Seelmann-Eggebert
Ru-108	4 m	4,5 m	G.B.Baró, P.Rey, W.Seelmann-Eggebert
Sb-126	~6d	12,4 d	H.Bosch, R.Radicella
Sb-126m	18,8 m	19,0 m	I.Fränk, R.Radicella, J.Rodríguez
Sb-128	9,6 h	9,0 h	I.Fränk, R.Radicella, J.Rodríguez
Sb-128m	10,3±0,3 m	10,0 m	I.Fränk, R.Radicella, J.Rodríguez
Sn-128	57±2 m	59,1 m	H.Carminatti, I.Fränk, J.Rodríguez
Tc-102	5±1 s	5,3 s	J.Flegeneimer, W.Seelmann-Eggebert
Tc-102m	3,8 m	4,3 m	J.Flegeneimer
Tc-103	1,2 m	54,2s	J.Flegeneimer, D.Geithoff
Tc-105	10,5 m	7,6 m	J.Flegeneimer, W.Seelmann-Eggebert
W-189	11 m	11 m	G.B.Baró, J.Flegeneimer, M.Virsoo

Cuadro I. Los isótopos descubiertos en la Argentina en la década del cincuenta.

En la segunda columna se consigna el período de semidesintegración hallado y en la tercera el período de semidesintegración aceptado actualmente.

por espectrometría gamma con cristales de NaI (TI), todavía en estado de desarrollo. En la actualidad tanto la energía de la radiación beta como la de la radiación gamma se determinan por métodos espectrométricos y con detectores que han permitido aumentar la resolución en algunos órdenes de magnitud.

El trabajo en aquel período fue fascinante. El grupo era muy joven y muy entusiasta. Se trabajaba día y noche, casi sin descanso. La tarea tenía su faceta "deportiva". Las irradiaciones se llevaban a cabo en la planta baja de la sede de la CNEA y los laboratorios radioquímicos se encontraban en el primer piso, a unos cincuenta metros de distancia. Puesto que se trabajaba con isótopos de período corto, era muy importante reducir al mínimo el tiempo entre el fin de la irradiación y la separación y medición del radionucleido. Había que correr.... ! Radioquímicos corriendo con el recipiente de plomo que contenía los blancos irradiados, se convirtió en un hecho común en la CNEA. Abundan, como es de imaginar, las anécdotas al respecto. A estas carreras se debe, por ejemplo, la ubicación actual del busto del Gral. San Martín en el vestíbulo de la sede de la Ins-

titución. Hasta mediados de los años cincuenta el busto se encontraba en el centro del vestíbulo. Un día, uno de los "corredores" que venía a gran velocidad desde el sincrociclotrón con su recipiente de plomo utilizó la columna que sostiene al busto como eje de giro para enfrentar la escalera. Resultado: el busto de San Martín, la columna, el recipiente y el "corredor" fueron a parar al piso, afortunadamente sin mayores consecuencias. De ahí en más el monumento estuvo en uno de los rincones del vestíbulo, fuera del eventual recorrido de personas apuradas.

La revista *Zeitschrift für Naturforschung* publicaba en menos de tres meses el resultado de los trabajos, hecho muy importante en un tema tan competitivo como el de la búsqueda de nuevos radionucleidos. Posteriormente se utilizó también con frecuencia *Radiochimica Acta*, una revista nueva que publicaba los trabajos con celeridad y que se había impuesto en el ambiente especializado.

A principios de los años sesenta la situación fue cambiando. Con el avance de la instrumentación nuclear, la búsqueda de nuevos radioisótopos empezó a llevarse a cabo por métodos instrumentales. Los procedimientos quí-

micos para separar los isótopos radiactivos producidos en las reacciones nucleares, en muchos casos se hicieron innecesarios. Paulatinamente este campo de investigación fue pasando en todo el mundo al dominio casi exclusivo de los físicos. Lo mismo sucedió en nuestro país.

El grupo de radioquímica fue evolucionando y sirvió de base para algunas de las actividades importantes del desarrollo nuclear del país. Los sectores de producción y aplicaciones de radioisótopos y radiaciones, de radiofarmacia, de reprocesamiento de combustibles nucleares y de calibración de fuentes radiactivas entre otros, se formaron sobre la base de la experiencia de ese primer grupo original, atendiendo a los requerimientos tecnológicos que se iban presentando con el correr de los años. Hacia 1965 ya se habían redefinido las funciones de los radioquímicos y comenzaba una nueva etapa dedicada a la investigación aplicada y al desarrollo tecnológico.

JUAN MARIA GUTIERREZ

(1809-1878)

*Historiador de la Ciencia
en el Río de la Plata*

Por Juan Carlos Nicolau (*)



Juan María Gutiérrez
(Foto Archivo General de la Nación)

(*) El Ing. Juan Carlos Nicolau es Director del Instituto de Historia de la Ciencia y la Técnica de la Sociedad Científica Argentina.

Hombre perteneciente a la generación del '37, Gutiérrez es conocido por haber participado junto con Echeverría y Alberdi, ambos sus íntimos amigos, en las reuniones que condujeron a la formación de la Asociación de Mayo y en la redacción de su credo pero además, desde luego, por su destacada actuación como hombre público y por su labor como crítico literario y poeta, temas en los cuales descolló con méritos propios.

Gutiérrez, con 28 años, participa con una disertación acerca de la **"Fisonomía del saber español: cual debe ser entre nosotros", que al decir de un historiador** es una sintética exposición del desarrollo intelectual americano desde los tiempos de la conquista y la colonización". (Weinberg, 1958, 58)

Si bien, como afirma Ricardo Rojas, Gutiérrez es el primer investigador de nuestros orígenes literarios, en tanto que Marcelino Menéndez y Pelayo lo destacó como "el más completo hombre de letras", sus esfuerzos destinados a promover la actividad científica y técnica en el Río de la Plata merecieron escasa atención por parte de quienes se ocuparon de destacar sus méritos.

Gutiérrez además de su dedicación a la literatura, a sus importantes tareas como funcionario político y a la creación de la Facultad de Ciencias Exactas en la Universidad de Buenos Aires, de la cual fue rector, tuvo particular interés por el estudio de la ciencia, aspecto que quizás no ha sido adecuadamente puesto en evidencia, pero que sin duda se comprueba entre otros hechos, por su incorporación a la Sociedad Científica Argentina, en 1875, tres años después de su creación y a la cual perteneció hasta su fallecimiento el 26 de febrero de 1878.

Juan B. Alberdi en una reseña biográfica escrita el año de la muerte de su amigo, dice de él: "Por la altura de su corazón y el lustre de su bello espíritu, Gutiérrez era un poeta sin perjuicio de ser un matemático. De ahí viene la santa y preciosa alianza que bullía en su inteligencia, de un superior buen gusto con un buen sentido práctico". (Gutiérrez, 1915, 13)

Esta acertada apreciación del autor de las "Bases" explica el interés de Gutiérrez por el conocimiento científico desde su temprana juventud, que quedó documentado en los numerosos artículos que escribió destinados a rescatar del olvido sucesos vinculados al quehacer de los hombres de ciencia que supieron merodear en el Río de la Plata.

Se puede comprender su decidida afición por los temas científicos al recordar que luego de aprender las primeras letras en una escuela particular, en la que "no eran admitidos sino algunos niños determinados de familias conocidas", Gutiérrez se incorporó a los cursos de la Academia de Matemáticas dirigida por Felipe Senillosa. (Zinny, 1958, 275)

En carta dirigida a Domingo F. Sarmiento le decía: "Afortunadamente, tengo un carácter maleable y siempre me fue tan halagüeño el abrir un libro de poesía como otro de matemáticas"; palabras que denotan su particular cariño por los temas científicos. (Gutiérrez, 1866)

Cuando estudiante fue empleado de la Comisión Topográfica donde su superior Avelino Díaz, precoz profesor de matemáticas del curso preparatorio de la Universidad de Buenos Aires, lo designó para "adiestrar algunos niños jóvenes en el manejo práctico de los instrumentos", por su habilidad y conocimientos para realizar tareas de agrimensura. (Zinny, 1958, 277)

En 1823, a la edad de 14 años, cuando se desempeñaba como dibujante en esa Comisión, Gutiérrez rendía examen en el curso de Geometría de la Universidad, junto con su amigo Juan Saubidet. La crónica del periódico "El Argos" destaca la resolución de problemas algebraicos por el "muy adelantado joven Gutiérrez" entre otros temas y exposiciones efectuadas durante dicho examen. (El Argos, 1923)

Gutiérrez al recordar la relación con Avelino Díaz, señala que en una calurosa mañana de las vacaciones del primer año, fueron sorprendidos por éste en la oficina del Departamento Topográfico, disfrutando de un racimo de uvas compradas en el mercado y de un libro de poesías adquirido en la librería de

Mr. Lacerf, "con el ahorro de dos meses de nuestro escaso sueldo de delineador". (Gutiérrez, 1915, 589)

El 29 de enero de 1836, desempeñando el cargo de ingeniero en el Departamento Topográfico estuvo presente en la medición del ancho de la iglesia catedral para establecer un patrón de medida del metro lineal, junto con Felipe Senillosa, autor de una memoria sobre este trabajo y el coronel José Arenales en ese entonces presidente de aquella repartición de la provincia. (Zinny, 1958, 278)

La situación política imperante durante el gobierno de Rosas lo impulsó a exiliarse a Montevideo. El 19 de mayo de 1840 en una breve misiva le comunicaba a Vicente López haber "conseguido a manera de milagro mi pasaporte para fuera del país" y al mismo tiempo le pedía comunicara a su hijo Vicente Fidel, "que han cesado mis padecimientos". Palabras que desnudan su callada oposición a la política imperante en el gobierno. (AGN VII-21-1-6 N° 3747)

Tres años más tarde, desde la orilla oriental del Río de la Plata, se embarca con Alberdi para visitar Europa. En Turín, nos dice este último, se reúne con Carlos Ferrari antiguo encargado del cuidado de los instrumentos de física y química de los laboratorios de la Universidad y del Museo de Ciencias Naturales que, para ese entonces, había regresado a su país natal. (Gutiérrez, 1915, 27)

Más tarde, a su retomo de Europa, Gutiérrez se radica temporariamente en el sur del Brasil debido al sitio que sufría la ciudad de Montevideo, debiendo dedicarse a efectuar trabajos de agrimensura para lograr su subsistencia. En busca de mejores perspectivas decide luego trasladarse a Chile, donde en 1848 se lo nombra Director de la Escuela Naval de Valparaíso, oportunidad en la cual, nos informa Zinny, "arregló y puso en castellano una Geometría elemental, bajo el título de Elementos de Geometría, dedicados especialmente a los niños y artesanos de América". (Zinny, 1958, 293)

Derrotado Rosas en la batalla de Caseros, volvió en abril de 1852 a radicarse en Buenos Aires, luego de cruzar

la cordillera de los Andes y se incorporó al gabinete del gobernador Vicente López, como su ministro de gobierno, adoptando medidas tendientes a revertir la situación de estancamiento existente en las responsabilidades que debía cumplir la provincia en materia de obras de ingeniería. El decreto de fecha 16 de junio de 1852, debido a su iniciativa, dispuso la creación de un Consejo de Obras Públicas destinado fundamentalmente al estudio de todos los proyectos relativos a obras y trabajos públicos, tales como "camino, canales, muelles, puertos, refacción y construcción de edificios del Estado"; hecho que una vez más señala su preocupación por los temas relacionados con la técnica. Para integrar ese Consejo convocó a los mejores hombres que se encontraban en Buenos Aires, con larga experiencia en esas obras, entre ellos a Felipe Senillosa, Carlos Pellegrini, José María Romero y Pedro Benoit, entre otros. (Registro Oficial) Designado rector de la Universidad el 1° de abril de 1861, cargo que desempeñó hasta su jubilación, Gutiérrez reitera su interés en el desarrollo de la enseñanza técnica y la formación de profesionales y en consecuencia eleva al gobierno de la provincia de Buenos Aires, de quien dependía la universidad, un proyecto para la creación del Departamento de Ciencias Exactas en esa casa de estudios. Esta iniciativa tenía origen en la necesidad de enfatizar el estudio teórico y práctico de la enseñanza de materias científicas que, durante largos años, habían sido descuidadas por el escaso interés otorgado por el gobierno y la sociedad porteña a este tipo de actividades.

El 16 de junio de 1865, siguiendo las recomendaciones aludidas, por decreto del gobierno de la provincia se restablece en la universidad el Departamento de Ciencias Exactas comprendiendo la enseñanza de las Matemáticas puras y aplicadas y de la Historia Natural, estudios que prácticamente habían dejado de existir en la década del '30. (Besio Moreno, 1953, 71)

Esa permanente preocupación por el adelanto de la ciencia en el país le conduce, luego del arribo del doctor Germán Burmeister, a apoyar la creación

de la Sociedad Paleontológica de Buenos Aires, formada el 1° de agosto de 1866, surgida en una reunión celebrada en la universidad con la presencia de 22 personas, en la cual éste dio un resumen del objetivo que tendría la sociedad. Gutiérrez, designado presidente, leyó el reglamento provisorio y desarrolló las ideas de aquel. El objeto principal de la sociedad sería estudiar y dar a conocer los fósiles de la provincia de Buenos Aires y el fomento y acrecentamiento del Museo de Ciencias Naturales. (Revista Farmacéutica) La vinculación personal de Gutiérrez con Burmeister se explica por el apoyo que el rector de la universidad brindó a la labor del sabio alemán como director del Museo Público de Buenos Aires y al común interés de ambos por el estudio de las ciencias naturales. (Auza, 1996)

Gutiérrez redactó innumerables artículos destinados a exaltar a los hombres y los hechos científicos que tuvieron lugar en el Río de la Plata, publicados en su mayor parte en la "Revista de Buenos Aires" y en su sucesora la "Revista del Río de la Plata". Sin embargo, cronológicamente, su trabajo inicial relativo a esos temas apareció en el número 14 de "Mundo Americano", primer periódico semanal ilustrado con láminas litografiadas que apareció en Buenos Aires en 1835, editado por César Hipólito Baclé. En el trabajo titulado "Megatherium", Gutiérrez efectuaba una descripción del terreno donde fue encontrado este fósil y comentaba acerca de otro ejemplar encontrado a las orillas del río Salado y remitido a Londres por el cónsul británico Woodbine Parish.

Entre otros artículos relacionados con antecedentes históricos relativos a temas de las ciencias físico-matemáticas y naturales publicó "La paleontología en las colonias españolas", "Sobre el hombre prehistórico en la República Argentina", "Nuestro primer historiador Ulrico Schmidel", y "Trabajos de la Sociedad de Ciencias Físicas y Matemáticas".

En el primero de esos artículos, Gutiérrez analiza un expediente originado por el Cabildo de Buenos Aires en 1776, con motivo del hallazgo de res-

tos fósiles en el partido de Arrecifes, que remitidos a España, constituyeron el esqueleto de un *Megatherium*, exhibido luego en el Gabinete de Madrid. (Revista de Buenos Aires)

Con respecto al dedicado al hombre prehistórico, se trata de una breve síntesis que destaca el interés que despertan los estudios arqueológicos realizados en la provincia de Catamarca para descubrir restos de antiguas civilizaciones indígenas pobladoras del territorio argentino. Gutiérrez hace mención a los descubrimientos del profesor Liberani y de Francisco P. Moreno, enumerando algunas de las piezas de cerámica, cobre y piedra encontradas que a su criterio deberían contribuir a "alentar a los jóvenes compatriotas a exploraciones etnográficas". (Gutiérrez 1866)

Félix Weinberg señala que algunos trabajos quedaron sin ser publicados como "Efemérides de la Provincia de Buenos Aires desde 1810" y una "Carta de los viajes de descubrimiento y expediciones militares hechos en la Provincia de Buenos Aires", este último hubiera resultado de indudable interés para conocer la historia de la geografía de esta provincia. (Weinberg, 1958, 57) El 31 de marzo de 1868, meses antes de asumir la presidencia de la Nación, Domingo F. Sarmiento, Gutiérrez se dirige al ministro de gobierno de la provincia de Buenos Aires, Nicolás Avellaneda para ofrecer el manuscrito de una obra de la cual es autor, que lleva por título "Origen y desarrollo de la Enseñanza Pública Superior en Buenos Aires". ¿Qué resolución adopta el gobierno a cargo de Alsina? Con la firma de éste y Avellaneda dispone, quince días después de la fecha indicada: "Que es un deber del Gobierno fomentar trabajos como los que han ocupado la laboriosidad del doctor Gutiérrez que, a más de su utilidad reconocida, viene a auxiliar la acción de los poderes públicos respecto de uno de los objetos que deben preocupar principalmente su atención". (Gutiérrez, 1915, 42)

Por estas razones se hará cargo de la impresión del libro y "está dispuesto a adquirir la propiedad de la obra en nombre de la Universidad si es que se sirve cederla por la cantidad que fije

oportunamente la Legislatura".

Este libro constituye un valioso aporte al estudio histórico de los antecedentes de la educación superior en Buenos Aires, desde la época de la colonia hasta mediados del siglo XIX, en la cual su autor incluyó diversos artículos y comentarios en sus "Estudios Biográficos" acerca de las personalidades que se destacaron en las actividades intelectuales en la ciudad porteña, rescatando datos inéditos que fueron salvados del olvido. En esas páginas Gutiérrez se preocupó por señalar la actuación de varios científicos y profesores que pasaron por las aulas de la universidad mostrando su particular interés en los temas vinculados a las matemáticas y la física, además de los estudios de jurisprudencia, medicina y cirugía.

Pocos años después de la creación de la Sociedad Científica Argentina se dirige al secretario de la institución, en ese entonces Estanislao Zeballos, para solicitar su incorporación como socio y donar una serie de obras de su propiedad con destino a la biblioteca de la institución. En la carta que adjunta con los libros en donación, Gutiérrez se refiere a la necesidad de efectuar un relevamiento de las obras escritas sobre temas científicos, lo cual señala, "debería tratarse con detención; pero según la extensión que yo le confiero y de que es susceptible mi idea me llevaría a hacer la historia del estado en que se encuentran en la América que habla español, las ciencias físicas y las matemáticas aplicadas, tarea muy superior a mis fuerzas y difícil de desempeñar por la escasez de materiales indispensables para su trabajo que no ha sido hecho por nadie que yo sepa". (Archivo de la S.C.A.)

La consideración que merecía Gutiérrez con respecto a sus conocimientos científicos se evidencia por su participación como jurado en la discusión promovida por el hallazgo de una "tumulosa" indígena en la provincia de Buenos Aires realizada por Pedro Pico en julio de 1877, trabajo presentado a la consideración de los miembros de la Sociedad Científica Argentina. El doctor Carlos Berg y Francisco P. Moreno en un informe redactado en octubre de dicho año señalaron que los restos

encontrados no eran los primeros de este tipo. Esta opinión originó una polémica que se sugirió fuera dilucidada con la intervención de Gutiérrez como árbitro y la participación de Berg, Moreno, Pico y Zeballos.

Pese a las dificultades que Gutiérrez argumentaba existían para redactar una historia de los trabajos relacionados con la ciencia en el Río de la Plata, se decidió encararlo y a tal fin escribió una serie de capítulos al respecto con la intención de ofrecer una conferencia sobre el tema en la Sociedad Científica Argentina. La muerte lo sorprendió sin poder completarlo y darlo a conocer, pero sus originales fueron rescatados y se publicaron en la Revista Nacional (1886) en varios números.

Juan María Gutiérrez titula ese trabajo "Crónica del desarrollo de las ciencias matemáticas y de observación en el Río de la Plata" (1878), donde comienza por recordar a los científicos que se dedicaron a la descripción geográfica de las tierras de esa zona, trazando los primeros mapas de la región, para continuar con aquellos que estudiaron su historia natural y los fenómenos atmosféricos y finalizar relatando los estudios efectuados en los primeros años de la década del '20, del siglo XIX, en matemática, física y química en la ciudad de Buenos Aires.

Esta conferencia, que no pudo ser pronunciada, constituye un esbozo de una posible historia de la ciencia argentina que, sin dudas, hubiera escrito teniendo en cuenta los antecedentes que había recogido relacionados con las actividades científicas. Gutiérrez ha sido reconocido con alta estima por sus escritos literarios y poéticos, sin embargo estos han opacado un tanto los méritos que es preciso reconocerle por una obra que le define como el primer historiador de la ciencia y la técnica en el Río de la Plata.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1- Archivo General de la Nación (abreviatura A.G.N).
- 2- Archivo Sociedad Científica Argentina. Carta de Gutiérrez del 19 de octubre de 1876.
- 3- Auza Néstor T. (1996) - Germán Burmeister y la Sociedad Paleontológica (1866-1868). Academia Nacional de Historia - Investigaciones y Ensayos, N° 46.
- 4- Besio Moreno N. (1953) - La enseñanza y el origen del Departamento de Ciencias Exactas de la Universidad de Buenos Aires.
- 5- El Argos de Buenos Aires. N° 98, 6 de diciembre de 1923.
- 6- Gutiérrez Juan María (1915) - Origen y desarrollo de la Enseñanza Pública Superior en Buenos Aires. Editorial La Cultura.
- 7- Gutiérrez Juan María (1866) - Carta a D. F. Sarmiento en Museo Sarmiento, carpeta 29, carta N° 3384.
- 8- Menéndez y Pelayo Marcelino (1895) - Antología de poetas hispanoamericanos. Madrid.
- 9- Registro Oficial de la República Argentina - N° 2151 p. 137.
- 10- Revista Farmacéutica, año VIII, t° V N° 1.
- 11- Revista de Buenos Aires, t° 11, N° 41, septiembre de 1866.
- 12- Rojas Ricardo (1948) - Historia de la Literatura Argentina. Editorial Losada.
- 13- Weinberg Félix (1958) - El Salón Literario de 1837. Ed. Hachette.
- 14- Zinny Antonio (1958) - Estudios Biográficos. Ed. Hachette.

LA PROBLEMÁTICA DEL CALENTAMIENTO TERRESTRE. EL PANEL INTERGUBERNA- MENTAL SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO

Por Osvaldo F. Canziani (*)

La Sociedad Humana ha aceptado que su acción sobre el planeta es la causa de numerosos cambios en los sistemas naturales y en los que ella misma ha establecido, para proveer su subsistencia. Sin embargo, aún cuando la existencia de cambios en el entorno ambiental es generalmente aceptada, hay diferencias de opinión con respecto a los efectos futuros de esos cambios y a la irreversibilidad potencial de los cambios generados por los impactos de la actividad humana sobre dichos sistemas. Esas opiniones diferentes resultan de la manera en que se analice el denominado Cambio Global, que integra efectos tales como: pérdida de biodiversidad; pérdida del ozono estratosférico; calentamiento terrestre; desertificación, y sus interconexiones. Además, los impactos de los cambios dependen de los intereses sociales y económicos, y de los enfoques culturales de las partes afectadas. No en vano existen países y regiones desarrolladas, otras en desarrollo y, lamentablemente, áreas menos desarrolladas sobre las que los impactos de esta tendencia al cambio ya se dejan sentir con efectos generalmente graves. Hemos podido observar que los eventos extremos han tenido efectos más severos, particularmente en lo que hace a pérdidas de vidas humanas, en los paí-

ses menos desarrollados (v.g. los impactos de los recientes huracanes en América Central y en Estados Unidos). Muy probablemente, estos impactos diferenciales seguirán siéndolo, tal como se prevé respecto del aumento del nivel del mar en distintas regiones del mundo, en particular, en los estados insulares.

Ante esta situación, es importante enfatizar que los efectos de los distintos componentes del cambio global se integran. Así, los cambios derivados del calentamiento terrestre sobre los ecosistemas y su diversidad biológica son simultáneamente afectados por el aumento de la radiación ultravioleta, los cambios concomitantes en la disponibilidad del recurso hídrico y la exacerbación de la contaminación en la superficie terrestre (por ejemplo aumento del ozono en superficie). Se suman a ellos los factores que derivan de las presiones de una población en crecimiento explosivo y, en las regiones en desarrollo, los resultantes de infraestructuras y financiamiento inapropiados, y los debidos a la carencia y/o falta de aplicación de tecnologías apropiadas para enfrentar las consecuencias de los cambios. Tales situaciones dan como resultado condiciones de desarrollo carentes de sostenibilidad,

que suelen estar agravadas por los efectos negativos de la reconocida falta de equidad en las acciones entre países.

Los importantes desastres ambientales y económicos de la década de los '70 - particularmente las crisis alimentaria y del agua- que afectaron a distintas zonas del mundo fueron, inicialmente, considerados como problemas regionales. La década de los '80, al priorizar los efectos derivados de la pérdida del ozono estratosférico y al evidenciar disminuciones tan críticas como las que dieron origen al denominado "agujero de ozono Antártico", globalizó estos impactos, e hizo evidente que ellos son la consecuencia de actividades humanas. Fue entonces cuando la dicotomía entre ciencia y política fue reconocida plenamente en los países desarrollados y comenzaron las acciones para coordinar los resultados del quehacer científico con las decisiones políticas.

Un primer enfoque de la necesidad de coordinar las evidencias científicas con la toma de decisiones surge de la "Conferencia Mundial sobre la Atmósfera Cambiante: Implicaciones para la Seguridad Mundial", convocada por la Organización Meteorológica Mundial (27 al 30 de junio 1988), en la Universidad de Toronto (Canadá). Sus conclu-

(*) El Dr. Osvaldo F. Canziani es Co-Presidente del Grupo de Trabajo II del IPCC (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático). Pertenece al IEIMA (Instituto de Estudios e Investigaciones sobre el Medio Ambiente) y al FEU (Fundación Ecológica Universal).

siones destacaron la necesidad de encarar soluciones urgentes ante el problema de las emisiones de gases contaminantes de la atmósfera. A este respecto la Conferencia destacó que: "La Humanidad está llevando a cabo un experimento no intencionado, globalmente difusivo y penetrante, cuyas últimas consecuencias podrían ocupar el segundo lugar inmediatamente detrás de las que ocurrirían después de una guerra mundial nuclear. La atmósfera terrestre está siendo modificada con una rapidez sin precedentes por los contaminantes que resultan de la actividad humana, el uso ineficiente y el derroche de combustibles fósiles y los efectos de un crecimiento rápido de la población en muchas regiones. Estos cambios representan un peligro mayor para la seguridad mundial y están teniendo consecuencias dañinas en muchas partes del globo".... "Las mejores predicciones disponibles indican dislocaciones económicas y sociales potencialmente severas para las generaciones presentes y futuras; esto empeorará las tensiones internacionales e incrementará los riesgos de conflictos entre y dentro las naciones. Es imperativo actuar ahora".

El documento de la Conferencia de Toronto consignó también que:

"Los países industrializados desarrollados del mundo son la mayor fuente de gases de efecto invernadero y, por lo tanto, asumen ante la comunidad mundial el compromiso mayor de asegurar la puesta en ejecución de medidas para hacer frente a las cuestiones que deriven del cambio climático..."

La acción internacional

La consideración de estas cuestiones de interés mundial, que habían comenzado con la creación de la Comisión sobre Medio Ambiente y Desarrollo de las Naciones Unidas (CNUMAD, 1983), hicieron que, dos meses después de realizada la Conferencia de Toronto, la Asamblea General de las Naciones Unidas iniciara la discusión de

un borrador de propuesta para la Protección del Clima para las Generaciones Presentes y Futuras de la Humanidad. Mientras se discutía dicho borrador, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) establecieron un Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, generalmente identificado por su sigla inglesa: IPCC.

Además, la acción iniciada por la Asamblea General de las Naciones Unidas fue apoyada por la OMM, agencia especializada que convocó la Segunda Conferencia Mundial del Clima (Ginebra, 1990). Esta reunión internacional tuvo la particularidad del agregado político, ausente en la Primera Conferencia Mundial del Clima (Ginebra 1979). Así, la Segunda Conferencia contó con sesiones científicas y técnicas y con sesiones ministeriales. En estas últimas participaron autoridades ministeriales de países desarrollados y en desarrollo, y organizaciones no gubernamentales, de diversas regiones del mundo.

Es oportuno destacar que esta Conferencia Mundial contó con los auspicios de la OMM, UNESCO, FAO, PNUMA y el Consejo Internacional de Uniones Científicas (CIUC), y permitió que políticos y científicos analizaran la problemática del calentamiento terrestre y definieran las responsabilidades iniciales frente a este flagelo, las que, como corresponde, fueron asumidas por los países desarrollados. Esta situación permitió establecer el principio de la responsabilidad común pero diferenciada, sobre el cual se apoyan la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Sin cancelar la responsabilidad común, que incluye indudablemente a los países en desarrollo, los países desarrollados, cuyo progreso social y económico se realizó en desmedro de la calidad ambiental del planeta, aceptaron asumir los costos de una posible reparación de tales desastres globales, incluidos los que deriven del calentamiento terrestre.

Como se ha mencionado, habida cuenta de la urgencia por definir las causas

y evaluar los efectos de un posible calentamiento terrestre, la comunidad científica ya había establecido el denominado Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático. La OMM y el PNUMA asignaron a este panel exclusivamente científico, la responsabilidad de realizar la evaluación científica y decidir sobre la necesidad de profundizar los conocimientos sobre las causas y los efectos de un posible calentamiento terrestre, por causas antrópicas. Esta evaluación debía hacerse a través del análisis de la bibliografía existente, buscando separar las causas naturales del cambio del clima de las originadas por los denominados gases de efecto invernadero (GEI), cuyas concentraciones en la atmósfera desde el comienzo de la Era Industrial (cerca 1750) se habían incrementado, en lo que al dióxido de carbono correspondía, en un 35%.

Ya en 1990, el IPCC había producido su Primer Informe de Evaluación, cubriendo, mediante la tarea de tres grupos de trabajo, la evaluación científica, los impactos y las estrategias de respuesta, con respecto al cambio climático. La realización de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo (Río de Janeiro, 1992), llevó a la preparación de un informe complementario orientado a proveer referencias actualizadas para el tratamiento del proyecto de convención que constituiría la denominada Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMNUCC).

El reconocimiento creciente de los efectos del calentamiento terrestre, tanto por sus efectos sobre diversos sistemas naturales y manejados (v.g. los recursos hídricos y la agricultura), como por sus implicaciones socio-económicas, condujeron a los países miembros del Panel a decidir sobre la realización de un Segundo Informe de Evaluación, ajustando los términos de referencia de los grupos científicos. Este nuevo estudio, publicado en 1996, además del análisis de los aspectos científicos del cambio incluyó los aspectos de la variabilidad climática y la

consideración de los eventos extremos. Los impactos fueron estudiados en relación con la adaptación al cambio y la mitigación de las emisiones de GEI, se realizó un estudio sobre las dimensiones sociales y económicas del cambio climático.

La aprobación de la CMNUCC y las necesidades de sus órganos integrantes -el Órgano Subsidiario de Asesoramiento Científico y Tecnológico (OSACT) y el Órgano Subsidiario de Implementación (OSI)- hicieron que las funciones del IPCC debieran ser ampliadas para fundamentar el accionar y satisfacer los requerimientos de los órganos. Consecuentemente, el Panel elaboró una serie de informes técnicos y especiales orientados a cumplir con tales requerimientos y otros que surgieron como consecuencia de la elaboración del protocolo de la convención.

Elaboración del Tercer Informe de Evaluación del IPCC

Antes de la convocatoria de la Tercera Conferencia de las Partes de la CMNUCC (COP 3, Kioto, 1997), el OSACT tuvo necesidad de disponer de una evaluación de los impactos del cambio climático por regiones. Consecuentemente, solicitó al Panel la elaboración de un Informe Especial sobre los Impactos Regionales del Cambio Climático (IEIRCC) para que las Partes (países) reunidas en Kioto dispusieran de elementos de referencia que permitieran modular las acciones que derivarían de la adopción de un borrador de protocolo, que había sido preparado por un grupo ad hoc (el Grupo Ad Hoc del Mandato de Berlín, creado en ocasión de la Primera Conferencia de las Partes, Berlín, 1995).

Aunque conocidas, este IEIRCC puso en evidencia una serie de nuevas prioridades para el Panel. Buena parte de ellas surgían de la evidencia de los diferentes efectos hemisféricos y regionales del cambio climático. Otras emergían de los requerimientos de informa-

ción científica que plantean los artículos del Protocolo de Kioto. Además, los países miembros del IPCC, considerando la independencia del Panel respecto de la Conferencia de las Partes y de la Secretaría de la Convención -Asamblea y Órgano Ejecutivo respectivamente- decidieron que el IPCC debía ampliar sus objetivos para coordinar su accionar con los correspondientes a las otras convenciones mundiales -Convención sobre Diversidad Biológica, Convención de Viena para la Protección de la Capa de Ozono y su Protocolo de Montreal, Convención de las Naciones Unidas para Combatir la Desertificación, etc.- y para proveer a sus estudios una dimensión humana apropiada en una relación, no escrita pero aceptada, con los objetivos de la Comisión de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (CDS).

Simultáneamente, surgían nuevos requerimientos, originados por la CMNUCC, particularmente derivados de la necesidad de las Partes por conocer el grado de certidumbre de las evaluaciones del IPCC respecto de los impactos del cambio climático y la vulnerabilidad de los sistemas y servicios naturales y manejados, y por conocer las posibilidades de estrategias de adaptación y mitigación y definir sus impactos sociales y económicos. Estas necesidades configuraron la necesidad de una nueva evaluación que debía ser más completa que las dos anteriores, habida cuenta que, además de los aspectos globales del cambio climático, se planteaba la necesidad de evaluar los efectos regionales y hacer que las evaluaciones incluyeran estimaciones sobre la certidumbre de las proyecciones y fueran moduladas en función de la necesidad de un desarrollo sostenible, en condiciones de equidad. Puesto que los resultados de las evaluaciones planteadas debían ser compatibles, el IPCC debía utilizar marcos de decisión y metodologías de costo tipificados, de manera que los tomadores de decisión, políticos y privados, pudieran hacer las comparaciones necesarias, particularmente en lo que concierne a la definición de acciones para prevenir los efectos adversos, que se registran en

ocasión de eventos extremos (inundaciones, sequías, tormentas), y tomar provecho de los beneficios potenciales del calentamiento terrestre (aumento de la precipitación efectiva, a favor de cultivos de secano).

La XIII Reunión del IPCC (Islas Maldivas, 1997), reconociendo las nuevas necesidades resultantes de los impactos de la variabilidad y el cambio climáticos, particularmente las de orden social, económico y humano, decidió dar un nuevo enfoque a su trabajo. Para ello reestructuró a los Grupos de Trabajo, manteniendo al Grupo de Trabajo I a cargo de los Aspectos Científicos del Cambio Climático. Se asignó al Grupo de Trabajo II la tarea de evaluar los Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático, mientras que al Grupo de Trabajo III se le asignó la tarea de evaluar los diversos aspectos de la Mitigación del Cambio Climático. Los tres Grupos de Trabajo tienen la responsabilidad de contribuir a la evaluación de las nuevas cuestiones que se integran y cruzan transversalmente en todos los capítulos del Informe, en cuanto hace a la evaluación de la certidumbre de las proyecciones climáticas y los escenarios integrados futuros y sus implicaciones en el Desarrollo Sostenible, con equidad. Para ello se deben definir las Metodologías de Costo y los Marcos de Decisión, que deberían ser utilizados, de manera homogénea, en todo el Tercer Informe de Evaluación (TIE).

Estos nuevos requerimientos fueron complementados con una serie de cuestiones científicas asociadas a cuestiones políticas relevantes, planteadas por las Partes de la CMNUCC, a través del OSACT. Entre ellas es oportuno mencionar las siguientes:

△ la contribución de los análisis científicos, técnicos y socio-económicos en la determinación de lo que constituye un interferencia antrópica peligrosa con el sistema climático

△ evidencias, causas y consecuencias de los cambios en el clima desde la era preindustrial

Δ influencia de las concentraciones crecientes de GEI y aerosoles, en las escalas global y regional.

Δ inercia y escalas de tiempo asociadas con los cambios en el sistema climático, los sistemas ecológicos y los sectores socio-económicos, y sus interacciones

Δ conocimiento sobre el potencial para, y los costos y beneficios de, y el marco temporal para reducir las emisiones de GEI

Δ descubrimientos más importantes y las incertidumbres clave con respecto a la atribución del cambio climático

Estas cuestiones, y otras derivadas de los aspectos científicos, técnicos, sociales, económicos y humanos de los efectos del cambio climático, llevaron al IPCC a decidir sobre la incorporación de un Informe de Síntesis, que será escrito de manera políticamente neutra, incluyendo cuestiones como las arriba mencionadas, que son políticamente relevantes pero no políticamente restrictivas. El Informe de Síntesis estará enfocado en las consecuencias ambientales y socio-económicas del cambio climático y en la forma en que las políticas y medidas, incluyendo los mecanismos de mercado, pueden ser usados para adaptar o mitigar, respecto del cambio climático de manera costo efectiva. Cada una de las respuestas será informada tan cuantitativamente como sea posible, discutirá la evidencia en la que se apoyan los hallazgos presentados y contendrá una discusión sobre las incertidumbres y, cuando resulte posible, incluirá también información sobre tiempos, marcos de decisión y metodologías de costo.

Este Informe de Síntesis se desarrollará en base a los Informes de los tres Grupos de Trabajo y será complementado con un Resumen para Tomadores de Decisión derivado de las mismas fuentes.

Tal y como ha sido la metodología de trabajo del Panel, el Tercer Informe de Evaluación incluirá la información per-

tinente sobre los Informes Técnicos y Especiales, elaborados en base a los requerimientos de la CMNUCC y el Protocolo de Kioto, y los resultantes de sus propios grupos de tareas, como los relativos a la elaboración de escenarios de mitigación y a la preparación de escenarios de evaluación de impacto. Para su publicación deberá ser aprobado por los miembros del Panel, de acuerdo con los procedimientos vigentes. La forma de publicación será en volúmenes que abarquen las conclusiones de cada Grupo de Trabajo y un volumen para el Resumen para Tomadores de Decisión, con el Informe de Síntesis y las respuestas a las cuestiones políticas relevantes.

Con el objeto de proveer una información completa de las publicaciones del IPCC, se agrega un Anexo con el listado de todos los informes aprobados y publicados y, también, sobre los informes en desarrollo.

ANEXO

Lista de Publicaciones del IPCC

- Informes de Evaluación.

First Assessment Report (FAR) 1990. Publicado en 3 volúmenes:

- o Working Group I: Scientific Report
- o WG II: Impacts Report
- o WG III: Strategies

1992 Supplementary Report. Publicado en 2 volúmenes:

- o Climate Change 1992: Supplementary Scientific Report
- o Climate Change 1992: Impacts Assessment

Second Assessment Report (SAR) 1996. Publica-

do en 3 volúmenes.

- o WG Y: The Science of Climate Change
 - o WG II: Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change
 - o WG III: Economic and Social Dimensions of Climate Change
- Third Assessment Report (TAR). A ser publicado en 3 volúmenes en el 2001.

- Informes Especiales

- o Radiative Forcing of the Climate Change and Assessment of the IPCC IS92 emission scenarios (1994)
- o IPCC Technical Guidelines for Assessing Climate Change Impacts and Adaptations (1995)
- o IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (1997-Segunda Edición)
- o Aviation and the Global Atmosphere (1999)

- Informes Especiales en elaboración

- o Methodological and Technical Issues in Technology Transfer (publicación año 2000)
- o Emission Scenarios (publicación año 2000)
- o Land Use, Land Use Changes and Forestry (publicación año 2001)

Además, el Panel ha publicado una serie de Informes Técnicos, basados en las conclusiones de los Informes de Evaluación y lleva adelante estudios para el desarrollo de guías para la preparación de Escenarios para Evaluación de Impactos.

MODIFICACIONES EN EL METABOLISMO TELOMÉRICO INDUCIDAS POR RADIACIONES

En el contexto de un convenio entre la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN) de la Argentina y el Comisariado de la Energía Atómica (CEA) de Francia se ha desarrollado, durante los últimos dos años, un trabajo que consiste en el estudio de las modificaciones en el metabolismo telomérico inducidas por las radiaciones ionizantes. En tal sentido, visitó el país a fines de octubre, el doctor Edgardo Carosella, un argentino radicado en Francia, Jefe del Servicio de Investigaciones Inmunoematológicas del Hospital Saint Louis, Grand Prix de Sciences de 1996 y Director del Programa de Colaboración entre ambas instituciones.

De todos los efectos de las radiaciones ionizantes sobre los diferentes sistemas biológicos, uno de los más importantes, sin duda, es el que concierne a las células madre hematopoyéticas, es decir aquellas células muy inmaduras que tienen la capacidad de repoblar todo el sistema sanguíneo cuando una pérdida importante de elementos pudiera poner en peligro la funcionalidad del mismo.

Las células madre hematopoyéticas son totipotenciales, es decir, capaces de generar todos los tipos de células que el sistema requiere, como los glóbulos rojos, blancos y linfocitos. El estudio de los efectos de las radiaciones ionizantes sobre estas células tiene una importancia decisiva. Las células totipotenciales hematopoyéticas se encuentran localizadas en la médula ósea de huesos como el fémur, esternón, hueso ilíaco (la cadera) y otros. La médula ósea se halla dividida en tres compartimentos: 1) el estroma o tejido de sostén; 2) el de las células madre totipotenciales; 3) el de las células pluripotenciales o en vías de diferenciación. El sistema hematopoyético es, por otra parte, uno de los sistemas más radiosensibles. La radiosensibilidad de estas células permite el tratamiento radiante de personas que padecen enfermedades malignas, ganglionares o sanguíneas. Por otra parte, la supervivencia de personas irradiadas accidentalmente dependerá de la presencia, así como de la capacidad funcional que las mismas mantengan, es decir de la capaci-

dad proliferativa que sean capaces de desarrollar. Esta capacidad proliferativa está relacionada a la extensión del extremo de los cromosomas llamado Telomero. Esta estructura se acorta cada vez que la célula se divide determinando el tiempo de vida útil en términos de duplicación celular. Una enzima llamada Telomerasa es la encargada de elongar el Telomero después de cada división celular compensando el segmento perdido. De modo que en la extensión telomérica y en la actividad de Telomerasa podrían encontrarse algunas claves de la refuncionalización.

En este sentido, uno de los objetivos del estudio fue determinar la radiosensibilidad de las células totipotenciales hematopoyéticas. Con este fin se irradiaron in vitro líneas celulares similares a las células totipotenciales humanas. Esta irradiación se realizó a través de distintas dosis, tasas de dosis y distintos tipos de radiación.

Conocer la radiosensibilidad de la célula madre hematopoyética permitirá acceder a una información de gran importancia. "Lo que intentamos determinar es el mecanismo relacionado con los cromosomas de esas células, para comprender la respuesta del sistema frente a la radiación. La célula totipotencial es muy radiosensible y el hecho de poder diferenciarse y dar origen a millones de células le confieren una importancia particular tanto en la inducción de tumores, como por ejemplo en la leucemia, como en la Aplasia medular (ausencia total de ele-

mentos sanguíneos)" comentó el doctor Carosella.

¿Porqué el metabolismo telomérico?

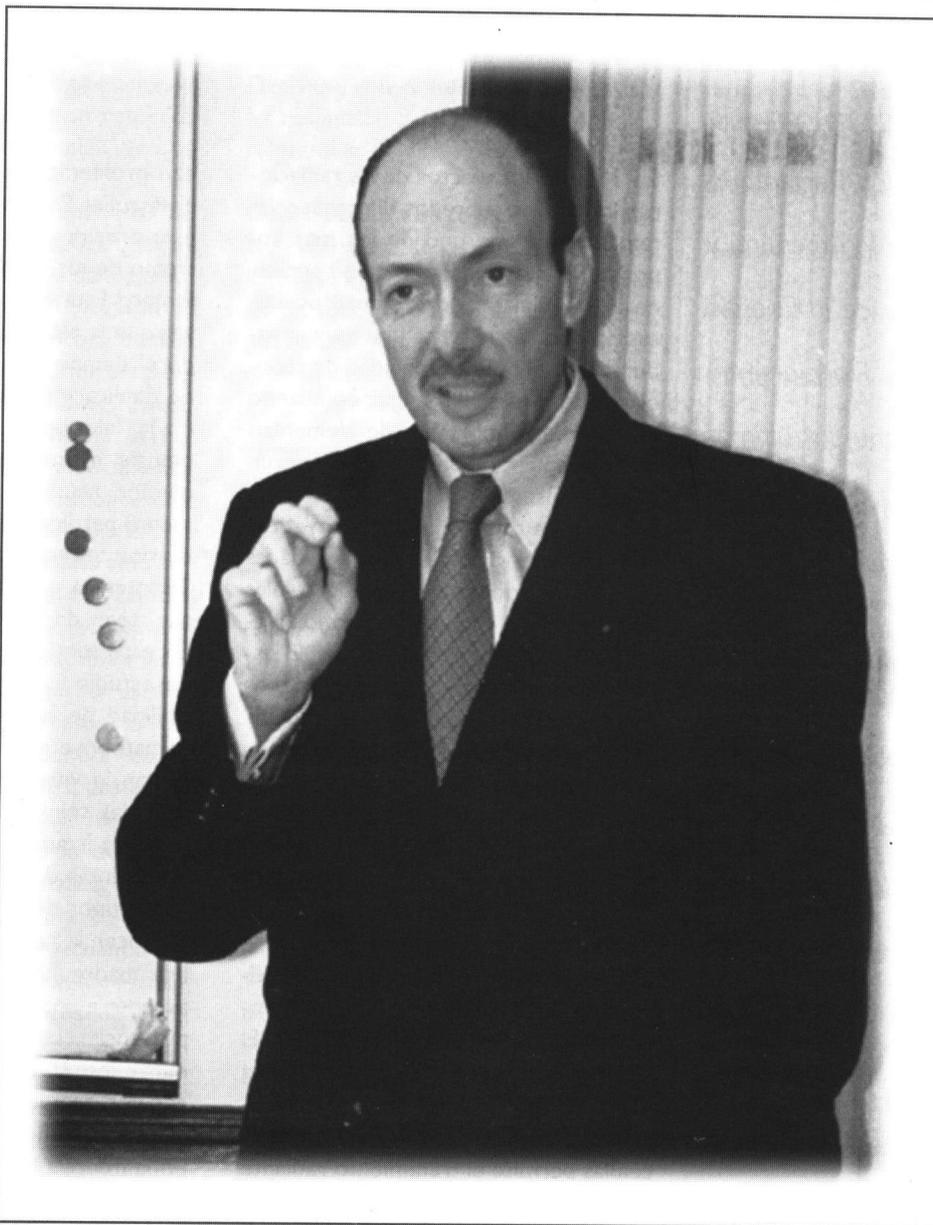
"Los telómeros son de alguna manera los relojes de las células, a medida que las células se van replicando, van perdiendo parte de la extensión telomérica. Pero si esto ocurriera de modo tan simple las células vivirían muy poco y generarían pocas divisiones celulares.

Es por ello que existe una enzima, la Telomerasa, que está encargada de elongar el telómero después de cada duplicación" explicó el doctor Pablo Gisone, miembro del Laboratorio de Radiopatología de la ARN.

El estudio, realizado en forma conjunta con Francia, apunta a ver cómo reacciona el Telómero - y en esto el laboratorio del doctor Carosella fue pionero- a través de la actividad de la Telomerasa y su comportamiento con la radiación ionizante. Ello puso en evidencia que existe una alteración profunda de la actividad de la Telomerasa en relación a la radiación, que muestra una inactivación muy precoz, seguida de una inductibilidad dentro de cierto rango de dosis. Esta inductibilidad sería para compensar la pérdida de los telómeros, así como incrementar la estabilidad genómica.

Esto ya había quedado en evidencia en los trabajos realizados en el laboratorio francés; en tal sentido el laborato-

rio de la ARN trabaja para testear otras calidades de radiación, por ejemplo las radiaciones de Alta Transferencia Lineal de Energía, como las radiaciones neutrónicas, que transfieren mucha energía por unidad de recorrido. "Lo que hicimos fue irradiar muestras de sangre y de unas células que son parientes de las totipotenciales de la médula ósea para testear los efectos sobre el complejo telomérico. Nuestra contribución al estudio consistió en refrendar los patrones de comporta-



Dr. Edgardo Carosella

miento descriptos por el laboratorio del doctor Carosella, al tiempo de ensayar otras tasas de dosis y calidades de radiación" sostuvo Gisone.

Este es un trabajo fenomenico, pero es sólo el primer paso, porque a partir de ahora se está intentando desglosar el mecanismo de la activación, es decir los modos de activación de las distintas fracciones de la enzima.

Otro aspecto importante, que avala la realización de este estudio, es que entre el 5 y el 7% de las personas que reciben una irradiación terapéutica sufren reacciones adversas, mientras que el resto no las desarrolla a pesar de recibir la misma dosis. Esto se produce

porque ciertos individuos tienen una sensibilidad aumentada en relación al resto de la población. Por esta razón, aseguran los investigadores, sería importante contar con tests de radiosensibilidad capaces de determinar la sensibilidad de cada persona a fin de poder modificar el esquema de irradiación terapéutica, para evitar que produzcan reacciones adversas tardías a partir de la misma. Ambos laboratorios aspiran al desarrollo de un test eficaz para determinar radiosensibilidad.

PREMIOS

El 12 de noviembre se entregaron los premios "Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales" y "Ernesto Galloni", en la Academia Nacional de Medicina, junto a los certificados de las becas "In libris carpe rosam", en matemática y ciencias biológicas.

Durante el acto disertó el doctro Francisco E. Baralle, Académico Correspondiente en Trieste, Italia, sobre "Ciencia básica y aplicada: una división acientífica".

Recibieron los premios de la Academia Nacional los siguientes profesionales: Jorge E. Solomín, doctor en Matemática; Oscar E. Martínez, doctor en Ciencias Físicas; Antonio A. Quijano, Ingeniero Mecánico y Electricista; Jorge A. Suárez, Ingeniero Civil y Master of Science en Mecánica de Suelos; Alejandro F. de Nicola, doctor en Medicina; Oscar S. Giordano, doctor en Bioquímica; y Eduardo A. Rossello, doctor en Ciencias Geológicas.

Por su parte, Darío F. Delmastro, doctor en Ingeniería Nuclear, recibió el premio Ernesto Galloni.

ADJUDICARON CREDITOS FISCALES PARA INVESTIGACION Y DESARROLLO

El 29 de noviembre, como resultado de la convocatoria 1999 del Programa de Crédito Fiscal de la Secretaría de Ciencia y Tecnología, el Directorio de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica adjudicó el cupo de 20 millones de pesos, previstos en el Presupuesto Nacional, a 137 proyectos sobre 243 presentaciones, con una inversión por parte de las empresas de 73.4 millones, lo que implica un efecto palanca a la inversión privada en ciencia y tecnología de 2.7.

El programa de Crédito Fiscal distribuye, mediante concurso público, certificados habilitados para saldar obligaciones emergentes del impuesto a las ganancias. La buena respuesta recibida por el sector privado al mecanismo de crédito fiscal, puesto en marcha en 1998, determinó en esta ocasión que la demanda superara en 3.4 millones el cupo existente.

Del total de empresas adjudicadas, el 80% son PyMES y el 20% son empresas grandes. De los 20 millones de crédito fiscal otorgado el 66% fue adjudicado a PyMES y el 34% a empresas grandes.

Los proyectos adjudicados tienen una amplia localización geográfica: provincia de Buenos Aires, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Córdoba, Corrientes,

Chaco, Formosa, Jujuy, La Pampa, La Rioja, Mendoza, Misiones, Neuquén, Río Negro, Salta, San Luis y Santa Fe.

En el concurso de 1998 se presentaron 147 proyectos por una inversión de 137.8 millones de pesos, y en el año 1999 se presentaron 243 proyectos por un monto de 241.9 millones de pesos, lo cual significa un incremento del 65.3% en la cantidad de proyectos y un aumento de la inversión de 75.9%.

En 1998 se adjudicaron 94 proyectos por una inversión de 58 millones de pesos, y en 1999 se adjudicaron 137 proyectos por 73.4 millones de pesos; es decir, un incremento de la cantidad de proyectos de 45.7 % y un incremento del monto de 26.5 %. En 1998 se adjudicaron 18.5 millones de pesos de crédito fiscal, mientras que en 1999 se adjudicó la totalidad del cupo de 20 millones.

La tendencia confirma que el programa de Crédito Fiscal resulta interesante, particularmente, entre las PyMES; del total de las firmas beneficiadas en 1998, el 82.3 % fueron PyMES y un 80.3 % en 1999. A su vez, en 1999 el volumen de inversión de las PyMES fue superior comparado a las inversiones comprometidas por las grandes empresas.

PREMIO BIANUAL IWAN AKERMAN

El Fondo Nacional de Investigación Científica de la Comunidad Francesa de Bélgica, por iniciativa del Atlas Copco Airpower, adjudicará el Premio Iwan Akerman para estimular la investigación innovadora sobre compresores, desarrollo de maquinaria y disciplinas técnicas afines tales como: aero y termodinámica; sistemas de conducción electromecánica; motores de energía electrónica y de alta velocidad; nuevos materiales de alta performance; sistemas derivados para transformación y recuperación de energía, así como también sistemas para determinar la calidad del aire comprimido o de los gases.

El premio, que asciende a la suma de 25.000 euros -una cifra similar en dólares-, está destinado a investigadores con título universitario en carreras afines a las ciencias aplicadas. El trabajo presentado deberá estar terminado o ya comenzado. Las solicitudes deberán presentarse antes del 1 de febrero del 2000.

Informes y solicitud del formulario de inscripción: Fondo Nacional de Investigación Científica de la Comunidad Francesa de Bélgica Rue d'Egmont 5 (B - 1000 Bruxelles), Tel.: 32 (0) 2 5049211, Telfax: 32 (0) 2 5049292. E-mail: mjsimoen@fnrs.be

WORKSHOP DE PROMOCION EN BIOTECNOLOGIA

En el marco de la cooperación científico-tecnológica entre la Argentina y Alemania se realizará, en el mes de abril del 2000 (en días a confirmar), en Bahía Blanca, un "Workshop de Promoción en Biotecnología".

Con vistas a la realización del workshop se recibirán en las Oficinas Coordinadoras de ambos países, propuestas e ideas de proyectos conjuntos -de ambos países- en Biotecnología y en otras áreas de aplicación biotecnológica. Dichas ideas serán analizadas y evaluadas por los asesores científicos en cada país y, de acuerdo a los resultados, se enviarán las invitaciones para el taller. Los autores podrán, en este ámbito, contactarse y trabajar con sus contrapartes para discutir, elaborar o mejorar la propuesta.

Este workshop fue diseñado como un foro para discutir, mejorar y elaborar las propuestas. También se prevé la participación en este taller del sector industrial que constituye un factor relevante para la co-financiación de la cooperación.

El grupo de investigación que presente la propuesta deberá, además, identificar un grupo de investigación del país contraparte que potencialmente será su partner para el desarrollo del proyecto. En caso de no conocer una posible contraparte del otro país para su temática, deberá contactarse con los asesores científicos en Biotecnología.

Las ideas o propuestas de proyectos conjuntos de investigación deberán ser detalladas en idioma español e in-

glés en la Argentina y en alemán e inglés en Alemania, posteriormente presentarse en forma simultánea en las Oficinas coordinadoras de ambos países. Los formularios pueden retirarse de la oficina coordinadora o obtenerse por FTP: [ftp.secyt.gov.ar/pub/relint/form_alemania_es.rtf](ftp://ftp.secyt.gov.ar/pub/relint/form_alemania_es.rtf), (en castellano), o [ftp.secyt.gov.ar/pub/relint/form_alemania_in.rtf](ftp://ftp.secyt.gov.ar/pub/relint/form_alemania_in.rtf) (en inglés).

La presentación de ideas o propuestas vence el 15 de marzo del 2000. El análisis y evaluación de propuestas se realizará entre el 15 y el 20 de marzo y la notificación de las invitaciones al workshop, del 20 al 31 de marzo del 2000.

Los asesores científicos en la Argentina son: Prof. Augusto García, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, e-mail: garcia@ifeva.edu.ar. Y en Alemania: Prof. H. Gaese, Universidad de Ciencias Aplicadas, Colonia, e-mail: bg100@smallffkoeln.de.

En nuestro país la Oficina Coordinadora es el Área de Cooperación Bilateral de la Dirección de Relaciones Internacionales, Secretaría de Ciencia y Tecnología, Av. Córdoba 831, 3er piso (1054) Capital Federal. E-mail: bilateral@correo.secyt.gov.ar. En Alemania: Oficina Internacional del Ministerio Federal de Educación e Investigación (BMBF), Koelnigswintere Str.522-524 (53227 Bonn, Alemania) matthias.hermes@dlr.de, (<http://www.dlr.de/ib>).

ÁREAS DE VACANCIA EN LA INVESTIGACION CIENTIFICA Y TECNOLÓGICA

La Secretaría de Ciencia y Tecnología realizó un estudio con el fin de identificar, en las distintas disciplinas, tanto las áreas con fortalezas relativas como las que se denominaron "áreas de vacancia", es decir, aquellas que muestran en el país un desarrollo insuficiente en cuanto a la capacidad de investigación y de formación de recursos humanos. El objetivo fue, además, contar con propuestas y recomendaciones específicas, para la consolidación de las áreas bien desarrolladas y para el fortalecimiento de las de vacancia identificadas.

El resultado del trabajo, publicado en diciembre, consiste en un análisis desde la oferta; dicho de otro modo, es un autodiagnóstico de la situación de la ciencia argentina realizado por su comunidad científica y tecnológica. Por lo tanto, la identificación de las áreas de vacancia no pretendió ser una priorización, sino un señalamiento de las áreas deficitarias, entre las cuales, posteriormente, la planificación podrá establecer prioridades a nivel nacional.

Este estudio consistió en una consulta a la comunidad científica, que se llevó a cabo en dos etapas: la primera (entre agosto de 1997 y diciembre de 1998) convocó a cuatro Comisiones Científicas, por cada una de las grandes áreas del conocimiento: Ciencias Exactas y Naturales (No Biológicas); Ciencias Agrarias, de Ingeniería y de Materiales; Ciencias Biológicas y de la Salud y Ciencias Sociales y Humanidades. Luego de una extensa labor, en la que participaron unos 400 científicos de alto nivel, las comisiones elaboraron documentos de diagnóstico sobre la situación de las principales disciplinas científicas en el país.

En una segunda etapa, desde abril a agosto de 1999, los documentos fueron revisados y completados, por una Comisión Compatibilizadora, conformada por los doctores Marta

Rovira por Ciencias Exactas, Gregorio Meira por Ingeniería, Eduardo Charreau por Ciencias Biológicas y Médicas y Ruth Sautu por Ciencias Sociales y Humanidades.

Muchas de las conclusiones y recomendaciones de los documentos, elaborados por las comisiones, fueron recogidas por el Plan Nacional Plurianual 1999/2001, en su capítulo sobre la "Expansión de la base científica-tecnológica", con la idea de crear grupos nuevos de investigación en las áreas temáticas y geográficas de vacancia identificadas (este programa será financiado con el préstamo del BID recientemente acordado para Ciencia y Tecnología). La publicación editada por la SECyT, representa la visión de más de 600 investigadores -que participaron del proceso- sobre estos temas. Y constituye, además, un trabajo pormenorizado de diagnóstico -desde la oferta- sobre la situación actual de la ciencia y la tecnología en la Argentina, en sus 50 disciplinas principales y en más de 400 áreas temáticas. Por otra parte, se trata de un trabajo abierto a futuras revisiones y actualizaciones, según la recomendación de sus autores.

Sobre 50 disciplinas científicas se identificaron 431 áreas temáticas, de ellas:

- 5 de desarrollo alto
- 72 de desarrollo intermedio
- 153 de desarrollo insuficiente
- 73 de desarrollo altamente insuficiente
- en Ciencias Sociales sólo se definieron las áreas vacancia, unas 139, sin diferenciar entre insuficientes y altamente insuficientes.

Algunas de las conclusiones generales, en las que coincidieron las cuatro Comisiones, fueron:

- El sector científico tecnológico está subdimensionado, tanto si se considera a la población económicamente activa, como si tenemos en cuenta el monto promedio de re-

curso disponible por investigador.

- Es necesario disponer que el aumento progresivo de recursos financieros esté orientado a facilitar la labor de aquellos grupos científicos cuya producción es de buen nivel como para atender las áreas de vacancia más específicas.

- Así como se observó la existencia de grupos de excelencia, se han encontrado algunas áreas temáticas cuyas vacancias son evidentes.

A partir de este diagnóstico general, hubo consenso para señalar que los instrumentos horizontales habituales de fomento de la investigación, como los subsidios a proyectos e investigadores, no son suficientes para cubrir las áreas de vacancia, ya que los subsidios se otorgan en función de la calidad de los investigadores, la que por definición no existe en el área de vacancia, o existe en cantidades mínimas. De allí que las Comisiones propusieron elaborar un Programa para la creación de nuevos grupos.

Luego de la finalización de esta tarea, a mediados de 1999 la SECyT encargó, a un grupo de expertos en transferencia de tecnología, realizar un análisis de las áreas identificadas en dicho diagnóstico desde el "punto de vista de la demanda" de conocimientos por parte de los sectores productivos.

Dicho trabajo se basó en una serie de entrevistas con referentes de la demanda, en sectores clave de la industria (alimentaria, electrónica, química y mecánica) y aquellos vinculados con cuestiones sociales. Además, se realizó una comparación con análisis semejantes efectuados en los países de la OCDE. El resultado, por más que se trate de un análisis exploratorio, permite contar con un cuadro sumamente ilustrativo de las complejidades y problemas existentes en la relación entre generación, difusión y utilización del conocimiento en nuestro país.

INNOVACION TECNOLOGICA, INVESTIGACION Y DESARROLLO EN EL SECTOR ENERGETICO:

Una Visión Prospectiva

Por Carlos M. Marschoff (*)



Determinar prioridades temáticas para la inversión pública en Ciencia y Tecnología constituye una decisión estratégica con consecuencias de largo alcance que es inevitablemente tomada por el Estado y el campo de la Energía, tanto por su importancia social y económica como por las características que poseen el desarrollo y maduración de sus tecnologías centrales; es una de las áreas en las que, por acción u omisión, el Estado juega inevitablemente un papel fundamental.

Por estas razones conviene destacar aquellos datos básicos que deben tomarse en cuenta respecto de la situación y perspectivas del mercado mundial y cuáles son las líneas de trabajo principales sobre las que se debería orientar el esfuerzo local de investigación y desarrollo durante los próximos años.

(*) Carlos M. Marschoff egresó de la Universidad de Buenos Aires (UBA) como Licenciado en Ciencias Químicas, donde luego obtuvo el título de Doctor en Ciencias Químicas, Orientación Físico-Química. Es Coordinador de Gestión del FONTAR (Fondo Tecnológico Argentino) de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica desde 1997. Desde 1984 ocupa el cargo de profesor asociado en el Departamento de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la UBA.

El consumo de energía

Uno de los datos necesarios para tomar esta decisión es el que corresponde a la magnitud de la demanda energética y su evolución probable. Para estimar esa demanda es preciso tomar en cuenta algunos hechos:

- El consumo de energía por habitante en los países ricos se ha estabilizado en las últimas décadas en un valor que, en promedio, es de 4 a 5 tep (1*), independientemente del crecimiento del PBI

- El consumo energético en los países en desarrollo aumenta con el crecimiento del PBI y se encuentra en un valor promedio cercano a 0,5 tep por habitante

- El crecimiento de la población mundial está bien representado por una curva logística [1] y se encuentra aún en la etapa previa al punto de inflexión. A partir de estos datos es posible calcular la evolución de la demanda mundial de energía para las próximas décadas, suponiendo un crecimiento logístico tendiente a alcanzar un límite de

consumo per cápita cercano al de los países ricos (hipótesis de alto crecimiento) o del orden de la mitad de ese valor (hipótesis de bajo crecimiento) y se obtienen los resultados que se muestra en la Figura 1 [2]

Fuentes primarias de energía

Fuentes actuales

La combustión de sustancias fósiles es hoy responsable del aprovisionamiento de alrededor del 85% de la demanda mundial de energía, mientras que el 15% restante está satisfecho por energía hidroeléctrica y nuclear. De este menú, el carbón y el petróleo tienen una fracción de mercado de alrededor del 30% y el gas natural un 25% en tanto que el uso de fuentes como la energía eólica, la solar, etc. es irrelevante. Cabe preguntarse cuál es la capacidad que las distintas fuentes tienen para sostener la demanda esperada durante los próximos años. En tal sentido, podemos analizar algunos datos.

- **Hidroelectricidad:** todos los análisis prospectivos coinciden en que no existe posibilidad de extender la fracción del mercado mundial ocupada por la hidroelectricidad y que esa fracción disminuirá como consecuencia de haberse aprovechado ya casi todos los emplazamientos donde pueden llevarse a cabo obras de cierta envergadura.

- **Energía nuclear:** la capacidad de abastecimiento de energía que pueden ofrecer las centrales nucleares de fisión depende críticamente del tipo de tecnología empleada. Las reservas conocidas de uranio sólo permitirían generar unos 250 PWh si se emplean reactores convencionales. En cambio, si se utilizaran reactores reproductores, esas mismas reservas podrían generar alrededor de 16.000 PWh. No se considera en el análisis la utilización del proceso de fusión nuclear ya que se trata de un proceso que, hasta ahora, no ha superado la etapa de investigación básica, si bien de poder concretarse su uso pondría a disposición una capacidad prácticamente inagotable de producción energética.

Demanda Energética Proyectada

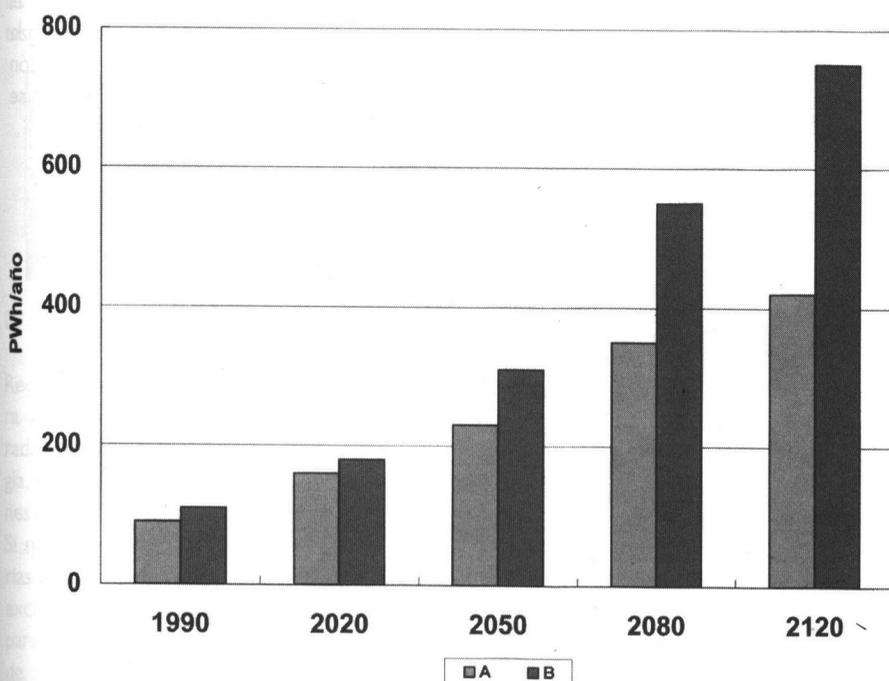


Figura 1: Proyección de la demanda energética mundial bajo hipótesis de bajo crecimiento (A) y de alto crecimiento (B)

(1*) Toneladas equivalentes de petróleo

- **Carbón:** entre las fuentes primarias es la que posee un mayor volumen de reservas, cuya magnitud permitiría generar alrededor de 59.000 PWh. Sin embargo, muchas de estas reservas se encuentran a grandes profundidades y será necesario desarrollar tecnologías apropiadas para lograr una velocidad de extracción comparable a la que se da en los yacimientos superficiales.

- **Hidrocarburos fluidos. Petróleo y gas natural:** la capacidad de los recursos existentes en la forma de hidrocarburos líquidos o gaseosos es un tema que conviene analizar. Existe una tendencia entre los economistas y profesionales de la industria del petróleo a creer que las reservas son lo suficientemente grandes como para considerarlas infinitas. Esta postura es más el resultado de una expresión de deseos que el de una elaboración racional basada en datos concretos. Al respecto, el geólogo inglés Colin Campbell en su reciente libro "The Coming Oil Crisis" [3], sostiene que el análisis del hori-

zonte de las reservas no puede basarse en lo que comunican gobiernos y compañías quienes, por motivos comerciales y políticos tienen interés en exagerar o subvaluar las reservas existentes y propone fundamentarlo sobre un estudio de la evolución de la producción de crudo y gas y del dimensionamiento concreto de los campos descubiertos. A partir de esto, determina que estamos acercándonos al límite de las reservas de petróleo convencional. Esta conclusión se refuerza cuando se

estudia cómo ha evolucionado la eficiencia de las perforaciones de exploración realizadas ya que, luego del incentivo que significó para la exploración el incremento de precios de principios de los '70, y pese a los avances tecnológicos alcanzados en el análisis sísmico y los aportes de la prospección satelital, el fuerte crecimiento en el número de pozos de exploración perforados no estuvo acompañado por un aumento correlativo en el volumen de petróleo descubierto y la ex-

ploración ha disminuido significativamente. Otro dato importante es que los descubrimientos cubicados están, desde hace más de 15 años, por debajo de los 20 Gb/año (2), lo que no alcanza a compensar el consumo mundial.

A partir de los datos obtenidos se estimó el volumen total de petróleo en el planeta, la cantidad estimada de crudo a descubrir y el remanente a extraer. En la Tabla 1 se vuelcan esos resultados.

Región	Petróleo total Gb (2*)	Petróleo a descubrir Gb (2*)	Petróleo a explotar Gb (2*)
Medio Oriente (Golfo)	722	75	534
Eurasia	339	53	183
América del Norte	238	15	45
América Latina	186	11	92
Africa	137	12	74
Europa Occidental	66	6	37
Oriente	60	4	26
Medio Oriente (Resto)	40	3	21
Posible adicional	13	8	10
Total mundial	1800	180	1016

Tabla 1: Volumen total estimado, volumen estimado a descubrir y volumen a extraer en el planeta.

Por otra parte, a través del estudio de un número importante de casos, Campbell y Laherrère [4] mostraron que la explotación irrestricta de un yacimiento evoluciona de acuerdo con

una curva de forma de campana, que es la derivada de una función logística, pero cuando se introducen restricciones externas, la producción cae por debajo de la campana teórica. Aplican-

do este modelo se puede estimar el momento en que se habrán agotado la mitad de las reservas y la producción comenzará a disminuir. En la Tabla 2 se muestran algunos resultados.

Región	Año de inicio de caída en la producción
Medio Oriente (Golfo)	2013
Eurasia	2000
América Latina	1995
Africa	1998
América del Norte	1975
Europa Occidental	1998
Oriente	1994
Medio Oriente (Resto)	1997
Mundo	2001

Tabla 2: Año de comienzo de la caída en la producción de petróleo previsto para cada región y para el mundo.

(2*) Giga Barriles (Miles de Millones)

Fuentes primarias alternativas

- Petróleo no tradicional: existen reservas de petróleo que, por su naturaleza, ofrecen serias dificultades de explotación y en las cuales el crudo posee características diferentes al fluido que hoy se explota. Esta categoría la constituyen los siguientes tipos de reserva: Esquistos bituminosos; Arenas bituminosas; Crudos pesados; y Petróleo de recuperación secundaria y terciaria.

Si bien las reservas son grandes, no existen aún tecnologías que permitan su explotación sin un serio impacto ambiental y el costo de producción es varias veces mayor que el del crudo normal. Las estimaciones más optimistas indican que, hacia el 2025, la producción de petróleo de esta categoría podría llegar a 5-6 Gb/año.

- Fuentes renovables: la única fuente renovable de energía que hoy contribuye significativamente es la hidráulica. Sin embargo, desde hace tiempo se vienen investigando otras fuentes renovables, como la energía solar, la eólica o la biomasa. En la Tabla 3 [2] se muestra una estimación de la capacidad de abastecimiento energético de las fuentes renovables más importantes.

FUENTE	CAPACIDAD (PWh/año)
Eólica	25
Solar	1.500
Térmica oceánica	100
Biomasa	150

Tabla 3: Capacidad de oferta de energía a partir de fuentes no renovables.

La atención de la demanda Recordando los resultados de la Figura 1, que muestran la evolución esperada para la demanda mundial de energía, es posible sacar algunas conclusiones. Si nos remitimos a las fuentes primarias hoy en uso tenemos, si se utilizara exclusivamente una fuente primaria para atender la demanda total el plazo de agotamiento de cada una de ellas estaría dado por los valores representados en la Figura 2. En lo que hace a las fuentes alternati-

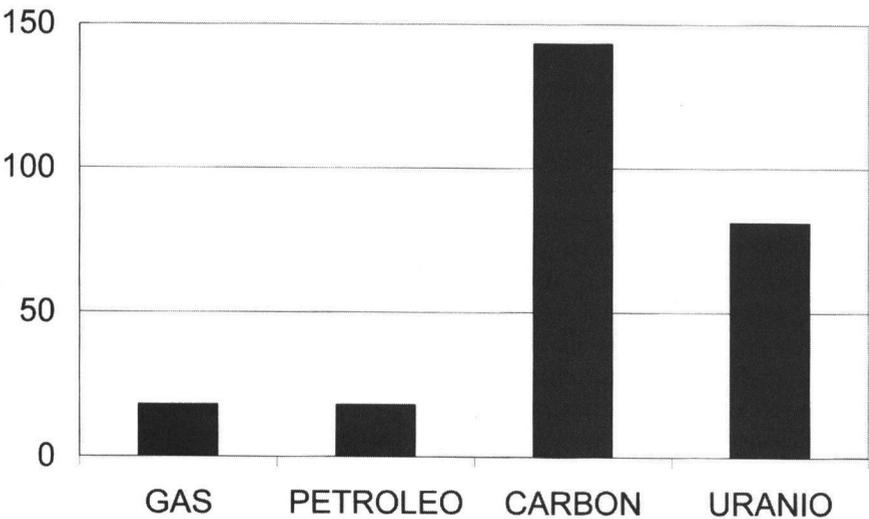


Figura 2: Magnitud de reservas comparada sobre la base del tiempo durante el que podrían sostener la demanda mundial

vas, el petróleo de tipo no tradicional presenta aún incertidumbres respecto del real tamaño de las reservas, y de las características de las tecnologías de extracción, por lo que resulta difícil determinar el volumen posible de ser explotado.

Respecto de las fuentes renovables, los datos de la Tabla 3 indican que la energía eólica es insuficiente para atender la demanda mundial. Por su parte, el empleo del gradiente térmico del océano y el de la biomasa sólo podrían atender una fracción de la demanda. La energía solar es, entonces, la única

común la discusión sobre los gases de efecto invernadero, la gravedad de la situación está subestimada.

A partir de medidas realizadas en las burbujas de aire ocluidas en muestras de hielo de glaciares, que pueden fecharse con precisión adecuada, ha sido posible determinar cómo ha variado el contenido de CO2 en la atmósfera durante los últimos 700.000 años [6]. Los resultados permiten señalar que:

1. El nivel de CO2 en el aire varió, hasta el siglo pasado entre máximos de 250-270 ppm y mínimos de 190-210 ppm
2. Hacia 1700 A.D. se había alcanzado un máximo cercano a los valores normales y, aparentemente, estaba por comenzar el ciclo de disminución. La Revolución Industrial puso en marcha un proceso de emisión extraordinaria de CO2 que determinó un aumento continuo de la concentración de ese gas, que ha alcanzado valores muy superiores a cualquier marca histórica y cuya velocidad adquirió órdenes de magnitud mayor que la verificada en cualquier otro momento.
3. Los máximos de concentración de CO2 alcanzados históricamente precedieron el desarrollo de glaciaciones producidas a lo largo de algunos miles de años luego de haberse alcanzado ese máximo.

Por otra parte, estudios de resonancia magnética nuclear sobre muestras de

fuerza renovable capaz de satisfacer por sí misma la demanda potencial. De todas maneras, debe tenerse en cuenta que el costo del kWh obtenido por cualquiera de estas fuentes aún es alto [5].

El problema ambiental

La segunda cuestión a considerar en relación con las alternativas para satisfacer la demanda de energía es la que se refiere a las consecuencias ambientales de utilizar una u otra fuente primaria. A pesar de que ya es un lugar

aire han determinado que el incremento de la concentración de ese gas es responsabilidad casi total del uso de combustibles fósiles.

Es evidente, entonces, que el uso intensivo de combustibles fósiles ha desencadenado una perturbación en la composición de la atmósfera de magnitud desconocida y ha puesto en marcha procesos de reacción a ese cambio que derivarán en cambios climáticos de magnitud y velocidad desconocidas en lo que va del período cuaternario. Por estas razones, y tomando en cuenta los efectos y riesgos que caracterizan a las distintas fuentes primarias de energía se ha propuesto una calificación de las mismas según su impacto ambiental en una escala que va de 1 (la menos contaminante) a 10 (la más contaminante). La Tabla 4 muestra esa calificación.

mercado energético de modo de obtener predicciones razonables respecto de su futuro, se toma como base el trabajo de Marchetti y Nakicenovic, en el que se planteó una extensión del método de sustitución logística al estudio de la competencia entre fuentes primarias de energía [7]. En su trabajo, publicado a comienzos de los '70, estos autores lograron ajustar los datos históricos y mostraron la capacidad predictiva del modelo. Sin embargo cuando se realizó el cálculo dos décadas más tarde [8] se encontró que la capacidad predictiva de había deteriorado: el carbón no cayó de acuerdo con lo previsto, y la participación del gas natural se estancó en lugar de crecer.

Las razones para esta discrepancia se encuentran en los supuestos implícitos

grupo de 42 países de características muy diversas [9]. Los resultados obtenidos mostraron que, en todos los casos, la competencia energía eléctrica y energía no eléctrica representa razonablemente la situación, en tanto que en muchos casos el análisis en términos de fósil vs no fósil es errático o aún opuesto a las tendencias mundiales. Nuestra conclusión, es que la dinámica del mercado energético está orientada por el crecimiento de la fracción que debe ser satisfecha con electricidad.

Los dilemas del aprovisionamiento de energía

La consideración de posibles alternativas para el aprovisionamiento de energía

FUENTE	APLICACION	IMPACTO AMBIENTAL
Solar directa	Calefacción local	1
Solar directa	Producción de electricidad	2
Solar fotovoltaica	Producción de electricidad	3
Biomasa	Combustible	7
Biomasa	Producción de electricidad	7
Eólica	Producción de electricidad	4
Hidroeléct. (Represas)	Producción de electricidad	5
Microhidroeléct.	Producción de electricidad	3
Térmica oceánica	Producción de electricidad	2
Carbón	Producción de electricidad	10
Petróleo	Combustible	9
Petróleo	Producción de electricidad	8
Gas Natural	Combustible	7
Gas Natural	Producción de electricidad	7
Nuclear	Producción de electricidad	6

Tabla 4: Impacto ambiental de distintas fuentes primarias según su aplicación

A pesar de la renuencia de las naciones industrializadas respecto de suscribir compromisos concretos para reducción de emisiones, el impacto de la emisión de CO₂ sobre el clima es claramente reconocido como un problema grave y urgente y, de hecho, se están tomando medidas importantes a nivel nacional y regional. El interrogante es si se logrará alcanzar una solución a tiempo.

Perspectivas del mercado energético

Para analizar la estructura básica del

en el método de Marchetti y, por lo tanto, propusimos analizar la evolución de la estructura del mercado en términos de dos formas de competencia binaria: una planteada desde la oferta y la segunda desde la demanda.

En la primera de estas aproximaciones, la competencia se considera planteada entre las fuentes primarias fósiles y las no fósiles; en el segundo se analiza la evolución del mercado en términos de la sustitución de formas no eléctricas de energía entregada por electricidad. A fin de decidir cuál de estos puntos de vista es más confiable se analizaron ambos procesos de competencia en un

gía en el futuro debe tomar en cuenta no sólo el costo actual de la energía producida, sino también la capacidad de las fuentes a utilizar, su impacto ambiental y la compatibilidad de las tecnologías necesarias con la infraestructura. Por ello, es conveniente dividir el análisis en dos partes: la producción de energía eléctrica en centrales de tamaño importante y la provisión de energía a usuarios dispersos.

Generación eléctrica en centrales: el único combustible fósil en condiciones de sostener la demanda por un período suficientemente prolongado es

el carbón. Sin embargo, es la alternativa que más afecta al medio ambiente. En tal sentido, el Departamento de Energía de los EE.UU. financia un programa cuyo objetivo es producir la combustión de carbón en centrales eliminando las emisiones perjudiciales para el medio ambiente. Se trabaja sobre la posibilidad de captar las emisiones de una central, tratarlas para eliminar contaminantes activos como óxidos de azufre y nitrógeno, monóxido de carbono, cenizas, hollín, separar el CO₂ y transportarlo para su reinyección en pozos de petróleo agotados o para ser hundido a grandes profundidades en el mar para su disolución. Las tecnologías necesarias aún no están disponibles, ni existe un acuerdo definitivo sobre el impacto que tendría esta estrategia. Además, según lo estimado, el costo de producción de un kWh libre de CO₂ será de 0,04 US\$, comparable al mejor valor esperado para la energía eólica en el futuro inmediato y mucho mayor que el costo de generación actual.

Provisión de energía a usuarios dispersos: El abastecimiento de energía a usuarios dispersos incluye el sector del transporte, que da cuenta de alrededor del 30% del consumo actual. Por lo tanto, constituye un sector de enorme importancia en el planeamiento estratégico futuro para el que es necesario pensar alternativas que le permitan satisfacer esa demanda en condiciones ambientales y económicas aceptables.

En este aspecto, se mencionan varias alternativas: usar sistemas catalizadores para eliminar emisiones de combustibles fósiles, emplear combustibles generados a partir de la biomasa o utilizar hidrógeno obtenido por descomposición de agua en las centrales eléctricas.

El empleo de combustibles fósiles en motores de alta eficiencia acoplados con catalizadores para tratar emisiones no resuelve, sino que atenúa, el problema del CO₂ y, por lo tanto, no puede considerarse como una solución a largo plazo.

Por su parte, la utilización de la biomasa, aún suponiendo rindes por Ha mu-

cho mayores a los actuales, exigiría una superficie cultivada dedicada exclusivamente a la producción de combustibles demasiado grande como para poder considerarla una alternativa válida en el mediano plazo [2].

Queda, en consecuencia, la alternativa de producción de hidrógeno a partir de excedentes de electricidad disponibles, durante lapsos de tiempo más o menos prolongados, en las centrales de generación.

La posibilidad de emplear el hidrógeno como vector de la energía eléctrica generada en centrales no contaminantes es la mejor de las alternativas propuestas y, para poder implementarla resulta necesario desarrollar y dominar un conjunto de tecnologías que permitan satisfacer las tres etapas del proceso: producir el hidrógeno por descomposición de agua; almacenarlo y transportarlo hasta el sitio de uso final; y quemarlo para generar energía localmente.

La producción de hidrógeno se viene realizando a escala industrial desde hace más de cien años por electrólisis en medio alcalino y hoy hay trabajos de investigación y desarrollo para realizar este proceso en fase vapor, a altas temperaturas (ca. 1000°C), condiciones en las que se espera obtener mejores costos [11].

En cuanto al almacenamiento y transporte de hidrógeno, los métodos que han tenido algún nivel de desarrollo son los siguientes:

- métodos físicos: gas a alta presión; hidrógeno líquido; encapsulamiento en microesferas de vidrio; adsorción en nanofibras de carbono

- métodos químicos: hidruros metálicos; amoníaco; hidruro de calcio; hidruros orgánicos

Entre ellos, el uso de hidrógeno líquido ha mostrado un gran avance en los últimos 10 años y, de hecho, varios de los modelos experimentales de vehículos desarrollados por BMW y Mercedes Benz llevan tanques de hidrógeno líquido. Más recientemente, algunos resultados obtenidos a escala de laboratorio han mostrado que el uso de nanofibras de carbono para la adsorción

de hidrógeno tiene un extraordinario potencial que, si pudiera trasladarse a escalas comerciales podría otorgar una autonomía de casi 2.000 km a un automóvil con un tanque de peso y tamaño semejante a los actuales.

Por último, y en relación con el uso del hidrógeno para generar energía, existen dos formas de producir la combustión de ese elemento: a través de métodos convencionales de combinación directa con oxígeno o por medio de los dispositivos conocidos como celdas de combustible.

La combustión directa de hidrógeno se ha venido estudiando, desde hace ya varias décadas, para la impulsión de vehículos terrestres y aéreos. Entre los desarrollos más recientes en este sentido se puede mencionar, como ejemplo, el ómnibus experimentado por Daimler Benz en el que el hidrógeno se almacena como gas comprimido.

La otra forma de quemar el hidrógeno es por vía indirecta, a través de las celdas de combustible. Estas presentan varias ventajas respecto de los motores de combustión interna: alta eficiencia de conversión, muy baja emisión de contaminantes, operación silenciosa, ausencia de partes móviles que reducen las necesidades de mantenimiento y posibilitan la operación automática bajando los costos operativos.

Conclusiones y recomendaciones

En cuanto a las acciones que deberían tomarse para orientar las actividades de investigación y desarrollo y de innovación tecnológica en el campo energético y, en base a los datos expuestos, surgen varias conclusiones:

- En los próximos diez años el comienzo de la caída de los niveles de producción de petróleo y gas natural a bajo costo y los problemas ambientales asociados con el uso de combustibles fósiles crearán una fuerte presión para pasar a otras fuentes primarias de energía y, para esa época, la única en condiciones de tomar la demanda sin generar CO₂ es la generación nuclear

- Los límites fijados por la eficiencia de

utilización del uranio no permitirá que las centrales de fisión nuclear convencionales se hagan cargo del mercado a satisfacer, por lo que habrá un fuerte impulso para pasar a centrales reproductoras

- La utilización de hidrógeno como combustible comenzará a tener un desarrollo significativo en el transporte y, en particular, el uso de celdas de combustible parece ser interesante

- Los planes que están desarrollando países como los EE.UU., Francia, Alemania y Japón muestran que, independientemente de que se firmen o no los compromisos internacionales de medio ambiente, estos países están trabajando en la búsqueda de alternativas no contaminantes para la producción de energía. Podemos suponer, entonces, que en el momento en que sus sistemas estén en condiciones introducirán las limitaciones ambientales como barreras para arancelarias mediante las cuales se podrán sustituir sistemas de subsidios

En consecuencia, y tomando en cuenta las características que ha tenido el desarrollo científico y tecnológico argentino en el área de la energía y las peculiaridades de distribución de fuentes primarias que presenta nuestro país, deberíamos tomar una serie de medidas:

△ Favorecer, en lo inmediato, iniciativas que apunten al uso del gas natural, no sólo en la generación de electricidad, sino también en la propulsión de vehículos y en su aplicación en celdas de combustible. De este modo se mejorará la eficiencia en el uso de los recursos, se reducirá el daño ambiental y se

preparará el terreno para la transición al empleo de hidrógeno

△ Mantener, y en lo posible incrementar, las actividades de generación nuclear convencional

△ Impulsar programas de I+D en reactores reproductores

△ Impulsar programas de I+D en las distintas fases del ciclo del hidrógeno

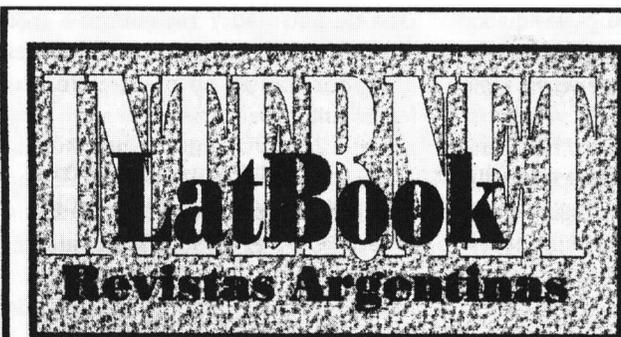
△ Promover actividades de generación eólica

△ Promover I+D en el área solar

Si pudiéramos sostener un programa basado en estos puntos durante los próximos diez o quince años contribuiremos decisivamente a lograr una posición estratégicamente favorable en el concierto económico y, teniendo en cuenta la capacidad adquirida en el área nuclear y en la de uso de gas natural, así como el potencial existente en el sistema científico tecnológico, no existirían razones para que no podamos lograr este objetivo .

REFERENCIAS

1. L. Coppola y C.M. Marschoff "Bases para la formulación de una política energética de mediano y largo plazo en Argentina" Buenos Aires, 1990
2. C.M. Marschoff "Las fuentes de energía del Siglo XXI". Fondo de Cultura Económica, Buenos Aires, 1992.
3. C. J. Campbell "The coming oil crisis", Multi-Science Publ. Co. & Petroconsultants S.A., Brentwood, Inglaterra (1998)
4. C. J. Campbell y J. H. Lahèrre, "The world's supply of oil 1930-2050" Petroconsultants Report, Ginebra 1995
5. International Energy Agency, "Energy Technologies for the 21st Century". Paris, 1997
6. G. Sandstede, en "Wasserstoffwirtschaft", DE-HEMA Monographien, Vol. 106, p.9, VCH Verlag, Weinheim
7. C. Marchetti y N. Nakicenovic, International Institute for Applied Systems Analysis RR 79-13,
8. L. Coppola y C.M. Marschoff, Energy, 18, 273 (1993)
9. A. Terneus Escudero, L. Coppola y C.M. Marschoff, Energy Convers. Mgmt. 38, 415 (1997)



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

Disponble en INTERNET
 en la siguiente dirección:

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

ASOCIACION ARGENTINA PARA EL PROGRESO DE LAS CIENCIAS

COLEGIADO DIRECTIVO

Presidente

Dr. Alberto Baldi

Vicepresidente

Dr. Marcelo Dankert

Secretario

Dr. Carlos A. Rinaldi

Tesorero

Dra. Clara K. Fishman

Protesorero

Dr. Horacio H. Camacho

Miembros titulares

Dr. Máximo Barón

Dra. Nidia Basso

Dr. Eduardo Charreau

Dr. Augusto García

Dr. Eduardo L. Palma

Dr. Sadi U. Rifé

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
(1014) BUENOS AIRES - ARGENTINA

YPF



En todo el país.

