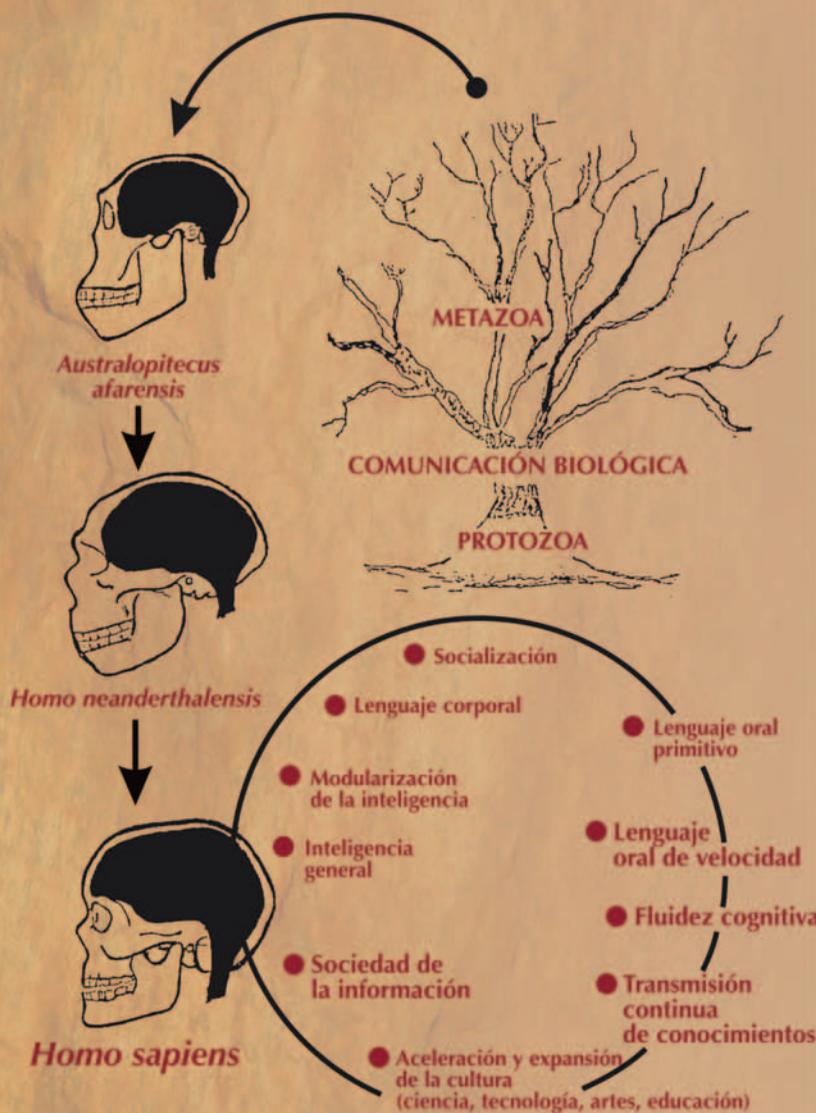


Ciencia e Investigación

CeI

ASOCIACIÓN ARGENTINA PARA EL PROGRESO DE LAS CIENCIAS

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



Comunicación Biológica

Su origen y evolución

■ ÁNGEL M. STOKA

Ciencia y Posmodernidad

Entrevista al

Dr. Juan de Xammar Oro

Vientos Estelares

■ PAULA BENAGLIA

Las Comunidades Bacterianas

Su rol en la biosfera y el metabolismo. Probióticos y Prebióticos

■ ROSA NAGEL



FUNDACIÓN DE HISTORIA NATURAL
FÉLIX DE AZARA

En todo el país

Por el estudio y la conservación
del patrimonio de todos los argentinos.

CIENCIA | CONSERVACIÓN | EDUCACIÓN | DIVULGACIÓN



Proyectos de investigación y conservación - Servicio de Información - Reservas - Relevamiento de campos - Estudios de impacto ambiental - Estudios de impacto sobre bienes arqueológicos - Publicaciones
Arqueología de rescate - Asesoramiento en temas ambientales - Trabajos de campo - Lucha contra el tráfico ilegal de flora y fauna silvestres - Viveros - Congresos y jornadas - Cursos y conferencias - Biblioteca
Exposiciones temporarias e itinerantes - Producciones televisivas y radiales - Talleres educativos - Visitas guiadas - Charlas en escuelas - Colecciones - Archivo de imágenes - Prensa y difusión

www.fundacionazara.org.ar

Acompañamos a la Fundación en su compromiso con el país, con sus recursos y con su gente.



Fundación de Historia Natural Félix de Azara
Departamento de Ciencias Naturales y Antropología
CEBBAD - Instituto Superior de Investigaciones

Universidad Maimónides

GE Healthcare

Más de 90 Reactivos de laboratorio en stock con entrega inmediata.
Consulte nuestros precios y promociones en www.gelifesciences.com

Recuerde que también distribuimos en Argentina:

- **Agilent:** Expresión génica / CGH
- **Stratagene:** Real Time PCR
- **USB:** Consumibles / Ultrapurios

Sales.ar@ge.com

(011)4576 3030



PROGRAMA DE BECAS Y SUBSIDIOS A LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA

Iguazú Jungle Explorer

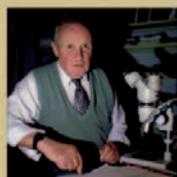
2007



FUNDACIÓN
DE HISTORIA NATURAL
FÉLIX DE AZARA

En nuestro compromiso con el desarrollo científico,
la exploración del país y nuestros verdaderos talentos.

Subsidio de Investigación a la Trayectoria Científica



Dr. José F. Bonaparte.

Desde 1959 el doctor José Fernando Bonaparte orientó sus investigaciones a los vertebrados mesozoicos, las cuales tenían por entonces pocos precedentes en Sudamérica. Con los años sus descubrimientos han llamado la atención de los más destacados especialistas de todo el mundo. Es autor de más de 150 trabajos científicos y 4 libros de divulgación. Obtuvo becas para perfeccionamiento e investigación en el exterior de la Deut. la Fundación J. S. Guggenheim, de la Fundación Alexander von Humboldt, del British Council, de la Deutsche Akademie Austauschdienst y del Field Museum, entre otros organismos. Fue subsidiado en sus expediciones por distintas entidades nacionales y extranjeras como: la Fundación Instituto Miguel Lillo de la Universidad Nacional de Tucumán, el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, el Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia" y el Centro Studi Ricerche Ligabue. También fue subsidiado por la National Geographic Society durante nada menos que 16 años consecutivos y por The Dinosaur Society en distintas oportunidades. Debido a su trayectoria fue requerido para dar conferencias y cursos en prestigiosas universidades y museos del extranjero como: la Universidad de Harvard, la Universidad de California (Berkeley), el Museum für Naturkunde de Berlín, la Universidad Federal de Rio Grande do Sul, el Indian Statistical Institute de Calcutta, la Universidad Autónoma de Madrid, el Staatsammlung für Palaontologie de Munich y la Fundacao Zoobotánica de Porto Alegre, además de sus tantas disertaciones en congresos internacionales. Se le han otorgado diversas distinciones tanto en el país como en el exterior: Associate Vertebrate Paleontology de la Universidad de Harvard en 1968; Delegado ante el II Symposium Internacional de Gondwana, África del Sur en 1970; Arnold Guyot Memorial Award de la National Geographic Society en 1989; Forschungspreisträger (portador del galardón de la investigación) de la Fundación Alexander von Humboldt de Alemania en 1992; Premio de la Fundación Konex en 1993; Premio "Ángel Cabrera" de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales en 1994; Miembro Honorario de la Asociación Geológica Argentina en 1995 y Premio al Mérito Paleontológico de la Asociación Paleontológica Argentina en 1996.

Beca Avanzada de Doctorado



Lic. Sebastián Apesteguía.

Es Licenciado en Ciencias Biológicas de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo, de la Universidad Nacional de La Plata y se encuentra finalizando su doctorado en Ciencias Naturales. Ha trabajado desde hace 17 años en el Museo Argentino de Ciencias Naturales Bernardino Rivadavia, donde es Investigador Adscripto. Dirige el Área de Paleontología de la Fundación Azara y dirigió el Proyecto Parque Cretácico en Sucre, Bolivia. Ha realizado trabajos de Evaluación de Impacto Paleontológico en proyectos mineros e hidroeléctricos. Su principal línea de investigación está dirigida al estudio de los reptiles cretácicos de Patagonia y las relaciones de las faunas cretácicas sudamericanas. Ha realizado más de 30 campañas paleontológicas, principalmente en la Patagonia, pero también en el norte argentino y el norte de los Estados Unidos de América, para lo que recibió subsidios de "The Jurassic Foundation" desde 2002 y de SECYT (2006). Publicó trabajos científicos en algunas de las revistas científicas más prestigiosas del mundo, y es además autor de 4 libros de divulgación y numerosos artículos de difusión científica. Ha nominado 5 nuevos animales fósiles y descubierto 5 nuevas localidades fosilíferas.

Beca Inicial de Doctorado



Lic. Pablo Gallina.

Es Licenciado en Ciencias Biológicas de la Facultad de Ciencias Naturales y Museo, de la Universidad Nacional de La Plata y se encuentra iniciando su doctorado en Ciencias Naturales. Su principal línea de investigación está dirigida al estudio de los dinosaurios saurópodos. Ha publicado varios trabajos científicos sobre el tema en revistas especializadas.

Beca de Grado



Est. Débora A. Rodríguez.

Es estudiante avanzada de la carrera de Antropología de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad de Buenos Aires. Participó en distintos proyectos de investigación desde el año 2002 y cursó estudios con orientación hacia la antropología biológica y forense, en la Universidad de Buenos Aires y la Universidad de la Policía Federal Argentina.

Programa desarrollado conjuntamente entre la Fundación de Historia Natural Félix de Azara y la empresa Iguazú Jungle Explorer

www.fundacionazara.org.ar

Fundación de Historia Natural Félix de Azara
Departamento de Ciencias Naturales y Antropología
CEBBAD - Instituto Superior de Investigaciones



Universidad Maimónides

TOMO 58 N° 1
2007

EDITOR RESPONSABLE

Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias (AAPC)

COMITÉ EDITORIAL

Director

Dr. Marcelo A. Dankert

Editores Asociados

Dr. Guillermo J. Juvenal

Dr. Basilio A. Kotsias

Dr. Claudio A. Parica

Dra. Alicia L. Sarce

Dra. María X. Senatore

Dr. Ángel M. Stoka

Cartas al Editor y suscripciones:

cparica@unsam.edu.ar

CIENCIA E INVESTIGACIÓN

Primer Revista Argentina de información científica.

Fundada en enero de 1945.

Es el órgano oficial de difusión de la Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias.

Av. Alvear 1711, 4° piso,
(C1014AAE) Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.
Teléfono: (+54) (11) 4811-2998
Registro Nacional de la Propiedad Intelectual
N° 82.657. ISSN-0009-6733.

Lo expresado por los autores o anunciantes, en los artículos o en los avisos publicados, es de exclusiva responsabilidad de los mismos. Ciencia e Investigación no se hace responsable por su contenido.

SUMARIO

Evolución de la comunicación biológica desde el nivel unicelular hasta llegar a un lenguaje oral de alta velocidad en los seres humanos.



EDITORIAL

Ciencia, tecnología, educación y sociedad.

Por Claudio Alberto Parica..... 3

ARTÍCULOS / ENTREVISTAS

Comunicación biológica. Su origen y evolución.

Por A. M. Stoka..... 5

Ciencia y posmodernidad.

Entrevista al Dr. Juan R. de Xammar Oro..... 19

Vientos Estelares

Por Paula Benaglia..... 27

Comunidades bacterianas

Su rol en la biosfera y el metabolismo.

Por Rosa Nagel 38

CORREO DE LECTORES..... 43

COMENTARIOS DE LIBROS

"El futuro no es más lo que era. La tecnología y la gente en tiempos de Internet - H. Reggini"

Por Héctor J. Fasóli..... 44

OBITUARIO..... 46

INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES..... 48

Ciencia e Investigación también se edita *on line* en la página web de la Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias (AAPC)
www.aapciencias.org

Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias

COLEGIADO DIRECTIVO

PRESIDENTE

Dr. Alberto C. Taquini (hijo)

VICEPRESIDENTE

Dr. Jorge Zenón Comín

SECRETARIO

Dr. Carlos Alberto Rinaldi

TESORERO

Dr. Horacio H. Camacho

PROTESORERO

Dra. Nidia Basso

PRESIDENTE ANTERIOR

Dr. Alberto Baldi

MIEMBROS TITULARES

Ing. Juan Carlos Almagro

Dr. Máximo Barón

Dr. Eduardo H. Charreau

Dr. Marcelo A. Dankert

Dr. Álvaro González Villalobos

Dr. Sadi Ubaldo Rife

Dr. Héctor Torres

Dra. Susana Elena Trione

Dr. Marcelo Vernengo

Dr. Juan R. de Xammar Oro

SOCIEDADES CIENTÍFICAS QUE PARTICIPAN DEL COLEGIADO

Sociedad Argentina de Biología

Sociedad Argentina de Farmacología Experimental

Sociedad Argentina de Investigación Bioquímica

Sociedad Argentina de Investigación Clínica

Unión Matemática Argentina

MIEMBROS FUNDADORES

Dr. Bernardo A. Houssay – Dr. Juan Bacigalupo – Ing. Enrique Butty

Dr. Horacio Damianovich – Dr. Venancio Deulofeu – Dr. Pedro I. Elizalde

Ing. Lorenzo R. Parodi – Dr. Carlos A. Silva – Dr. Alfredo Sordelli – Dr. Juan C. Vignaux

Dr. Adolfo T. Williams – Dr. Enrique V. Zappi

AAPC

Avenida Alvear 1711 – 4° Piso

(C1014AAE) Ciudad Autónoma de Buenos Aires - Argentina

www.aapciencias.org

Ciencia, Tecnología, Educación y Sociedad

Por Claudio Alberto Parica* ■

*Profesor Geología Ambiental Universidad Nacional de General San Martín. Geología del Sector Antártico Argentino. cparica@unsam.edu.ar

Son incontables los ejemplos que demuestran que el conocimiento, y en particular la ciencia, la tecnología y la innovación, son necesarias para dar satisfacción a los requerimientos de la sociedad. Cada día surgen novedades científicas y tecnológicas que permiten poner a punto innovaciones fundamentales para la calidad de vida y para la competitividad a nivel mundial; por otro lado, la cooperación científica constituye un elemento importante en el diálogo con el resto de la comunidad internacional. Sin embargo, existen indicios que muestran cierto desfase entre el gran potencial de realizaciones y las aspiraciones de los ciudadanos, como la paz entre los pueblos, el empleo, la seguridad, una distribución justa y equitativa de la riqueza o el desarrollo sostenible en el planeta.

Pero no está de más mencionar cuestiones que de manera inconsciente disfrutamos sin tener plena conciencia de cual es el aporte de la ciencia, por ejemplo al poder gozar de agua potable, es menester tener conciencia que en el estudio del acuífero proveedor está la acción de los geólogos, en las grandes construcciones, medianas

y hasta las más pequeñas también es el geólogo el que está detrás de los materiales imprescindibles para su realización. Los combustibles fósiles, la industria de la pintura, los materiales plásticos, los cosméticos, componentes de muchos medicamentos, nuevos tratamientos médicos, los desarrollos tecnológicos en la electrónica, las comunicaciones satelitales, y así podría llenarse una lista interminable de cuales son las realizaciones científico-tecnológicas que hacen al desarrollo de nuestras vidas sin detenernos a concientizar porqué disfrutamos de ellas. Por ejemplo, un 80% de los europeos piensa que la ciencia permitirá algún día vencer enfermedades tales como el cáncer o el SIDA, y los científicos disfrutaron de un grado de confianza muy alto, hasta el punto que un 72% de las personas encuestadas deseaban que la clase política basara en mayor medida sus decisiones en la opinión de expertos.

Pero, a pesar de estas expectativas y de este grado de confianza, el estudio demuestra que los ciudadanos siguen sin tener una percepción plena de la ciencia y la tecnología, y que ciertas franjas de

la población siguen hoy en día al margen de la ciencia. Es decir, que no hay una plena toma de conciencia por parte de la comunidad sobre la magnitud de la ciencia y la tecnología en la vida cotidiana.

Cabe la pregunta: ¿es responsable la sociedad por la falta de conocimiento sobre la incidencia de la ciencia y la tecnología en la vida y a favor de un mundo más habitable y con mejor calidad?, y creo que no existe una respuesta absoluta, existen sí responsabilidades compartidas, por parte de la comunidad científica que muchas veces vive puertas adentro de los laboratorios, por otro lado la prensa en general, que salvo descubrimientos muy, pero muy trascendentes hacen caso omiso a noticias que no "resultan noticias". Pero cuidado, esto tampoco es un patrón universal, países de la Unión Europea están atentos a la ciencia y a la tecnología como patrimonio propio y de soberanía. El conocimiento es en definitiva soberanía y motivo de orgullo, la inversión en ciencia es sin lugar a dudas eso "inversión" y no gasto.

Los jóvenes, por otro lado, no consideran hoy en día que los estudios y

carreras científicas ofrezcan suficientes atractivos como para lanzarse a ellas. En combinación con los cambios demográficos, esto ha dado como resultado, por ejemplo, que los industriales no encuentren, en el mercado de trabajo, los ingenieros y científicos que necesitan.

■ PROMOCIÓN DE LA EDUCACIÓN Y LA CULTURA CIENTÍFICA

La ciencia y la tecnología deben convertirse en algo más familiar para los ciudadanos. En esta perspectiva, es fundamental reforzar la presencia de la ciencia y la tecnología en los medios de comunicación y los ámbitos docentes con el fin de estimular el espíritu emprendedor de los jóvenes y el atractivo de los estudios y carreras científicas como el de fomentar el diálogo entre la esfera de la ciencia y la de la sociedad, por ejemplo mediante la celebración a intervalos regulares de eventos importantes.

■ NADIE DEBE QUEDAR AL MARGEN DE ELABORAR POLÍTICAS CIENTÍFICAS MÁS CERCANAS A LOS CIUDADANOS ES EL DESAFÍO Y UN COMPROMISO

La ciencia, la tecnología y la innovación deben también reconsiderar su compromiso social estableciendo su planificación en función de las necesidades y aspiraciones

de la sociedad. No se puede transitar a contramano de las necesidades de la sociedad. Con ejemplos que me resultan muy cercanos no siempre estoy seguro del compromiso de algunos científicos que viven de los claustros universitarios y no para ellos. Aún hoy mantienen discusiones bizantinas sobre ciencia teórica o ciencia aplicada. O lo que es peor aún, al no conocer más disciplinas que la propia ejercen acciones de boicot sobre otras líneas de investigación científica, implantando argumentaciones propias de mentes estrechas, con una incapacidad de ver más allá de sus propias narices, se proclaman dueños absolutos de la verdad, emiten sentencias mesiánicas que asumen como inobjetables, muchas veces inclusive causando daños irreparables y colisionando a veces con normas superiores.

■ INCORPORAR UNA CIENCIA RESPONSABLE EN LAS DISTINTAS POLÍTICAS DE ESTADO

La mayoría de las políticas deberían contar con una dimensión científica y tecnológica, y sus decisiones deberían apoyarse en dictámenes transparentes y responsables basados en investigaciones que tengan en cuenta imperativos éticos. Por ello, es necesario reforzar la base ética de las actividades científicas, detectando y eva-

luando aquellas actividades en las que "el fin justifique los medios", tratando de encontrar soluciones responsables en función de experiencias pasadas.

■ LA EDUCACIÓN Y LA PROFESIÓN CIENTÍFICA.

En una sociedad del conocimiento, la democracia exige que los ciudadanos dispongan de cierta cultura científica y técnica básica. Su adquisición y actualización se han vuelto tan imprescindibles como la alfabetización o el aprendizaje del cálculo. Ahora bien, aparte de estos conocimientos generales, un país, nuestro querido país debe disponer de un colectivo de científicos que le permita garantizar el desarrollo socioeconómico. Para ello es necesario, por un lado, despertar el interés por la ciencia en los jóvenes, chicos y chicas, dando a cada alumno los conocimientos básicos para desarrollar una ciudadanía activa y con fuerte participación en las decisiones en el terreno científico y por otro lado incitarles a emprender carreras científicas. También podría fomentarse la actividad profesional en el terreno científico entre los adultos que retomen y continúen sus estudios en una etapa más avanzada. Indudablemente sea para jóvenes estudiantes o para adultos con inquietudes el tema pasa sí o sí por la Educación.

... La revista aspira a ser un vínculo de unión entre los trabajadores científicos que cultivan disciplinas diversas y órgano de expresión de todos aquellos que sientan la inquietud del progreso científico y de su aplicación para el bien.

Bernardo A. Houssay

Comunicación biológica

Su origen y evolución

Palabras claves: adaptabilidad, gen, mutación, exaptación, feromona, lenguaje oral, cultura humana
Key words: adaptability, gene, mutation, exaptation, pheromone, oral language, human culture

Durante los últimos veinte años los investigadores han aportado una importante información genética que sirve para: a) confirmar relaciones filogenéticas, b) evaluar las posibilidades de evitar la pérdida de diversidad biológica, c) aplicar la información a la obtención de logros tecnológicos que mejoren la calidad de vida de los seres humanos y mantengan las condiciones ambientales. Dentro de este marco de referencia los mecanismos de la comunicación biológica a todo nivel tuvieron un rol sobresaliente abarcando desde las importantes interacciones entre organismos unicelulares por medio de moléculas informativas, hasta la función descollante del lenguaje oral humano y su singular derivación: la cultura de los homínidos.

Esta revisión está dirigida hacia la obtención de una visión compactada e integral de la evolución en la comunicación biológica, con especial énfasis en las adaptaciones y exaptaciones de estructuras, sistemas y funciones, mostrando el amplio espectro de repercusiones que produjo en la biósfera.

■ **Por A. M. Stoka**

Miembro de la Carrera del Investigador Científico (CONICET).
Lugar de trabajo: Instituto Nacional de Parasitología "Dr. Mario Fatała Chabén".
Dirección postal: Avda. Paseo Colon 568
Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
e-mail: stokainp@yahoo.com.ar
Tel: 43314016/19 - celular: 1531567733

■ INTRODUCCION

El estudio de la **comunicación biológica** es una herramienta imprescindible para el entendimiento del proceso evolutivo que ha ocurrido en la biósfera y que se ha potenciado por el impactante desarrollo que las técnicas utilizadas en biología molecular han tenido en los últimos dos décadas.

Desde el año 1983 un análisis prospectivo basado en la información filogenética y utilizando las modernas técnicas de secuenciación de genomas permitió confirmar, descartar o postular conceptos tradicionales sobre la evolución biológica. Este avance posi-

ibilitó en el área tecnológica el aprovechamiento de recursos biológicos que potenciaron el desarrollo industrial a nivel agronómico y farmacológico. Por otra parte permitió generar hipótesis sobre cuales fueron los cambiantes escenarios del pasado evolutivo y los posibles escenarios futuros para el desarrollo de la especie humana, considerando las presiones ambientales (naturales o provocadas por la actividad humana) que deberán soportar las diferentes especies biológicas, e implementar medidas que soslayen el riesgo de la pérdida de diversidad biológica debido a la anormal extinción de especies animales y

vegetales. Haciendo una mirada en perspectiva hacia atrás en el tiempo, podemos caracterizar tres etapas en la dinámica y estructura de la transmisión de información en la biósfera: 1) los hiperciclos autocatalíticos, 2) la evolución biológica, 3) la evolución cultural humana. En concordancia con esta visión podemos decir que el estudio de la comunicación biológica abarca la transmisión de información en el más amplio sentido, desde la información genética codificada en los ácidos ribonucleico (ARN) y desoxirribonucleico (ADN) hasta la adquirida utilizando la comunicación sensorial (e.g.: visual, olfatoria, táctil, auditiva).

Consecuentemente, si queremos entender la comunicación biológica en la biósfera, es esencial que estudiemos primero la comunicación, por medio de mensajeros químicos, que ocurre entre organismos unicelulares, dado que es importante conocer cuán similares y cuán diferentes son los mecanismos de comunicación química en diferentes niveles de organización. En niveles superiores de organización el tema de estudio inevitablemente concierne a la adaptación de estructuras (moléculas, células, tejidos, órganos, sistemas, individuos, poblaciones) al estrés ambiental.

Particularmente los sistemas secretores, como una red de control de la comunicación a un nivel básico, han recibido extensa consideración en este manuscrito. Por otra parte la relación entre comunicación biológica y desarrollo cultural ha generado diferentes áreas de estudio (sociobiología, darwinismo social, etología evolutiva). En cierta forma la cultura trabaja sobre la base de sistemas biológicos para la información/comunicación (químico, visual, acústico).

Ha sido asumido (1) que los homínidos se han destacado por su extraordinaria capacidad para desarrollar una cultura singular como consecuencia de su: a) **capacidad fonológica**, b) **capacidad para el aprendizaje**. Por otra parte es sabido (2) que el **lenguaje oral** fue una herramienta clave para el desarrollo de las comunidades humanas.

Ciertamente los seres humanos no son los únicos organismos que poseen una capacidad para modificar las presiones de la selección natural en su medio ambiente. Existen otras especies de animales con capacidades semejantes, las cuales poseen **protolenguajes** (2) utilizados para la comunicación (e.g. rituales, danzas, cortejos sexuales en invertebrados y vertebrados). Pero existe una diferencia crucial para el devenir evolutivo y es que los seres humanos actuales pertenecen a la única especie viviente con transmisión cultural lo suficientemente estable como para introducir cambios a diferentes niveles (biológico, tecnológico, psicosocial) en forma continuada a lo largo del tiempo. Es conveniente resaltar que dichos cambios son la materia prima dinámica que utilizan los meca-

nismos evolutivos específicos para cada nivel (biológico, tecnológico, psicosocial) influyendo de manera diversa en el futuro de la especie humana.

Los temas desarrollados tratan de establecer la conexión entre la evolución en su faz biológica y en su faz cultural, utilizando como hilo conductor la comunicación y el control de la transmisión de información en la biósfera.

■ I. CONCEPTOS BASICOS SOBRE LA EVOLUCION BIOLOGICA

La evolución biológica es siempre un proceso en dos pasos involucrando primero un **cambio** a lo largo del desarrollo que origina variaciones biológicas en los organismos de una población y luego una **selección natural** que elimina los organismos menos aptos para su adaptación al medio ambiente, lo cual culmina con alteraciones de las frecuencias génicas poblacionales.

La gran contribución de Charles Darwin fue identificar a la **selección natural** como la herramienta que posibilita la evolución biológica y puede producir el origen de nuevas especies animales y vegetales. Realmente la evolución misma puede ser considerada una forma de aprendizaje. Podemos decir que el proceso evolutivo, de acumulación de cambios a ciegas (e.g.: proceso de cambio y ensayo, proceso de ensayo y error), tiene una teoría de aprendizaje denominada **selección natural**. La selección natural explica: a) cómo los organismos adquieren conocimiento sobre su medio ambiente; b) cómo sistemas complejos (e.g.: conjunto de proteínas autocatalíticas, organismos) pueden emerger a partir de otros más simples.

Pero la selección natural es un proceso que no produce siempre un **progreso biológico**. Es conveniente recapacitar sobre lo que se considera progreso en biología. Brevemente podríamos decir que no existe un sendero que indique cual parámetro (e.g.: aumento en la complejidad de los niveles de organización, incremento en la capacidad para obtener y procesar información acerca del medio ambiente circundante, desarrollo de una organización social compleja, elevada inteligencia, etc.) es el adecuado para medir el progreso como un fenómeno

universal en la evolución. Quizás el criterio más general para considerar el **progreso evolutivo** sea la **capacidad de los seres vivos para expandirse y llenar todos los espacios donde la vida es posible, incluso aquellos espacios creados en el mismo proceso de expansión** (3).

Pero la evolución biológica no puede ser considerada progreso en una sola dirección. Desde el punto de vista que prioriza la mejor **adaptación** al medio para un grupo o especie, hubo diferentes y discontinuados tipos de progreso biológico. Para evaluar la adaptación de una especie en la biósfera el parámetro más adecuado es la **supervivencia**, la cual en principio depende de la generación de una gran variabilidad o **diversidad biológica**. En contraste, la selección natural produce una fuerte restricción para la diversidad biológica porque ella solo permite que una fracción de la población original sobreviva. Por lo tanto, el mantenimiento de la diversidad biológica es un proceso continuo que se produce por medio de **mutaciones genéticas (mutagénesis)** y sirve para poder enfrentar futuras selecciones dentro de una determinada población.

Pero dónde conviene ubicarse para ver mejor las manifestaciones y beneficios de la evolución; ¿en el ecosistema, en la especie, en la población, en el grupo, en el individuo o en el gen?

La biología demuestra que la adaptación es la capacidad que tiene el gen de aumentar su proporción en la población y permanecer durante suficientes generaciones para servir como unidad de selección, lo cual representa un factor decisivo para que se produzca la evolución.

Un postulado ampliamente sustentado en biología evolutiva es que **la mutación genética es ciega y al azar respecto de las futuras posibilidades adaptativas**. Existen razones teóricas para aceptar este postulado, dado que no se conocen mecanismos obvios que permitan capacitar a los sistemas genéticos para dirigir los cambios a futuros desafíos adaptativos. Ciertamente la evolución biológica depende de los errores en la reparación y replicación del ADN.

Virtualmente las mutaciones genéticas son inevitables y están produciéndose continuamente en los organismos, pero sólo las consecuencias en el

fenotipo del organismo son útiles al proceso de selección natural. De acuerdo a algunos autores (4), en una célula de mamífero cada hora en el ADN se producen la eliminación de 2.600 bases (adeninas, guaninas, citosinas, timinas) y la ruptura de aproximadamente 2.000 hebras unitarias. Es conceptualmente importante señalar que la fijación de una mutación se produce cuando el organismo que la posee la transmite a sus descendientes.

Básicamente la evolución biológica es la evolución de lo codificado genéticamente; los organismos en sí mismos no evolucionan. Las características fenotípicas son el resultado de la interacción entre el genoma de los organismos y el medio ambiente circundante. Consecuentemente la diversidad biológica dentro de una población puede contener algunos genomas que no soportan condiciones extremas del medio ambiente y en consecuencia desaparecen. Esta situación que se produce debido al medio ambiente cambiante (estrés ambiental) dá lugar a que la población evolucione al producirse variaciones de la composición genética poblacional.

La situación hoy no es diferente dado que el estrés, el medio ambiente cambiante, en general es hostil a la vida y puede conducir a una evolución. Pero por otra parte la estabilidad del genoma es un requisito primario para la supervivencia. Podemos decir que la disyuntiva crucial durante la evolución de una especie es **conservación** (herencia) **vs. cambio** (evolución biológica).

Esta contradicción existente entre **herencia** (estabilidad genómica) y **evolución biológica** (variabilidad del ADN) sólo puede ser resuelta en términos poblacionales. Las especies que consolidan el mejor equilibrio entre conservación y cambio probablemente son favorecidas por la evolución.

Desde un punto de vista evolutivo la adaptación al medio ambiente emerge como un resultado universal y última prueba de la ubicuidad de la selección natural. Esta idea es claramente compatible con la teoría moderna de la evolución por cambios genéticos graduales. Darwin fue el primero en argüir en favor del gradualismo como un factor importante en la modificación de las características de una población. Esencialmente, la selección natural es el mayor so-

porte para la historia evolutiva, pero la selección natural no alcanza como explicación para muchos aspectos de la evolución biológica. Un interrogante importante, que la selección natural no explica, es por qué muchas mutaciones que se producen en el ADN codificante son neutras y no producen una nueva enzima o proteína involucrada en las funciones de un organismo. Una explicación generalmente aceptada para este interrogante se basa en que la producción de cambios evolutivos al azar (deriva al azar) causados por mutaciones ligeramente perjudiciales así como por mutaciones selectivamente neutrales, juegan un importante rol en la mayor adaptación de una especie. A lo largo del proceso evolutivo, la utilidad de las mutaciones neutras se comprueba cuando el oportunismo evolutivo utiliza una antigua mutación, que en su origen fue selectivamente neutra, para desarrollar por ejemplo una nueva función (e.g.: **mutaciones silentes**). Otra explicación está dada por el modelo conocido como **equilibrio puntuado** el cual describe al éxito sobresaliente de algunas especies debido a un gran cambio en el genoma, producido por la suma de mutaciones silentes que se expresan en conjunto al ser sometidos los individuos de una población a un intenso estrés, y no como una gradual acumulación de adaptaciones sucesivas a cada una de las mutaciones originadas. Recientes datos indican que las mutaciones que conducen a cambios evolutivos no son pequeñas ni raras, y a veces ellas involucran el movimiento de trozos relativamente grandes del ADN. Estos cambios pueden afectar la expresión de genes ó liberar a genes duplicados o pseudogenes (5) para evolucionar a nuevas funciones.

Una tercera explicación sería por medio de las **restricciones evolutivas**, las cuales aseguran solamente la supervivencia de un proceso a lo largo de la historia evolutiva. Por ejemplo es aceptado que los procesos centrales conservados (e.g.: las enzimas que intervienen en la glucólisis son las mismas en una levadura y en los homínidos) restringen la variación fenotípica, actuando como una barrera para la evolución.

Desde los comienzos de la vida ha habido selección natural no sólo para

características particulares, sino también para la capacidad de realizar mutaciones útiles. Si la **diversidad biológica** es esencial para sobrevivir y si las mutaciones son requeridas para generar ésta diversidad, probablemente la **mutagénesis** ha sido seleccionada positivamente durante la evolución. Por ejemplo la selección natural favorecerá genes que dirijan su cambio genético (**genes mutadores**), porque ellos mejoran la adaptabilidad evolutiva. En verdad, la tasa ideal de mutación será mayor para genes que mejoran la adaptabilidad evolutiva porque ellos establecen las características de los organismos que están afectados por las condiciones ambientales, que cambian rápidamente. Probablemente, los más exitosos genomas son aquellos que tienen la capacidad de mutar rápidamente ante el estrés ambiental perjudicial.

En este sentido los modelos probables de evolución no son previsible porque los mecanismos genéticos no tienen capacidad para anticipar la evolución futura, y el cambio (mutación) al azar es una manera altamente riesgosa para mejorar una función biológica.

Por ejemplo, un sistema genético puede perder una importante y beneficiosa adaptación y nunca "enterarse" si el medio ambiente no le exige poseer esa capacidad para sobrevivir.

Independientemente de las sendas evolutivas recorridas por los seres vivos durante los últimos 3.600 millones de años es importante resaltar que existieron pasos claves que determinaron la biodiversidad actual. Tales pasos podrían ser sintetizados, de acuerdo a las teorías dominantes (6), en algunas importantes transiciones como las que se mencionan a continuación:

- a) Transición de ARN (gen y enzima) a ADN (gen) y proteína (enzima).
- b) Transición de un medio ambiente formado por hiperciclos autocatalíticos, sin organismos vivos, a una comunidad biológica unicelular.
- c) Transición de una vida anaeróbica (fermentación / respiración / fotosíntesis) a una vida aeróbica (fotosíntesis / respiración). En esta etapa se ven involucrados organismos que realizan procesos tales como fermentación, quimioautotrofia, respiración, fototransformación y fotosíntesis.
- d) Transición de organismos autótrofos a organismos heterótrofos.

- e) Transición organismos procariotas a organismos eucariotas.
- f) Transición de organismos unicelulares a organismos multicelulares.
- g) Transición de la reproducción asexual a la reproducción sexual.
- h) Transición de ausencia de un lenguaje oral a un sistema de comunicación oral de alta velocidad.

■ II. COMUNICACION BIOLÓGICA.

II.A. NIVEL BÁSICO

La palabra comunicación biológica representa una acción de reconocimiento entre entidades biológicas que altera el modelo probable de respuesta fisiológica de una manera adaptativa (supervivencia, defensa, reproducción), y dicha acción involucra la transmisión de información (7). La información representa un aspecto muy importante en la evolución de la comunicación biológica y, como veremos más adelante, es un factor decisivo en el desarrollo de las sociedades humanas y su cultura.

Desde una desorganizada y azarosa Tierra sin vida hasta la presente situación, donde la biósfera es virtualmente cubierta con innumerables especies biológicas, es casi axiomático que la capacidad de un individuo para obtener información por medio de la comunicación con el medio ambiente circundante fue un requisito básico para la adaptación de una especie. En este contexto, y de acuerdo a los conocimientos actuales, se acepta que la comunicación química fue el primer canal de comunicación en la biósfera y el evento cooperativo inicial probablemente fue el surgimiento de ciclos autoregulatorios.

Presuntivamente la organización vertical fue el tipo de interacción que permitió la cooperación dentro de estos ciclos y en entidades biológicas complejas. Podemos suponer que estas interacciones fueron generadas cuando **moléculas informativas**, tales como el ARN (8), comenzaron a regular **hiperciclos autocatalíticos** (9). Este tipo de regulación habría surgido en este escenario debido a que las moléculas de ARN tenían: a) un mayor tamaño, b) más alta estabilidad y c) capacidad catalítica para sintetizar proteínas.

Sintetizando podemos decir que existen dos diferentes tipos de **moléculas informativas**: 1) las **replicables** como los ácidos nucleicos, los cuales en condiciones adecuadas pueden "fotocopiarse" (replicarse) y "leerse" (traducirse) a sí mismos, y 2) las **moléculas-señal** [e.g. biorreguladores (señales de alimento, feromonas, hormonas, neurotransmisores, factores de crecimiento, toxinas, etc.), receptores celulares, transductores (e.g.: proteínas G), efectores (enzimas, e.g. ciclasas, fosfolipasas), segundos mensajeros (SM) (e.g.: cAMP, cGMP), cascadas de SM, etc] que regulan numerosos mecanismos fisiológicos (e.g.: metabolismo de hidratos de carbono) actuando como señales químicas. La duplicación de parte del genoma seguida de mutación y selección contribuye a la adaptabilidad evolutiva (10) debido a la aparición de nuevas moléculas por efecto de mutaciones ventajosas que se producen de manera aleatoria en las copias redundantes del ADN.

A este modelo de adaptabilidad evolutiva se lo puede vincular con la aparición, en ciertas especies, de regiones del gen que previamente no se expresaban (intrones), pero que al ensamblarse de diferente forma a través del proceso de recombinación de fragmentos génicos ("alternative splicing") se transforman en secuencias activas (exones) y dan al gen el carácter de una unidad versátil que puede codificar para más de una proteína de acuerdo a los modelos de recombinación que se produzcan sobre el mismo gen a lo largo del proceso evolutivo (11).

En síntesis, la evolución superó la limitación de la adaptabilidad evolutiva de los sistemas mutacionales cuando los sistemas genéticos adquirieron la capacidad de recombinar genes. La gran ventaja de la recombinación es que ella continuamente recrea la expresión de genes que pudieron haber sido exitosos en el pasado lo cual puede contribuir a la mayor diversidad de **unidades químicas** (e.g.: biorregulador-receptor, antígeno-anticuerpo, sustrato-enzima) en diferentes **sendas de señalización**, aumentando la probabilidad de producir nuevas funciones que pueden ser ventajosas para los organismos.

Para que ocurran estas asociaciones moleculares que dan origen a

nuevas unidades químicas debe producirse previamente el fenómeno de reconocimiento estructural, proceso clave que conduce al ordenamiento de la transferencia de información (biorregulador / receptor, receptor / transductor, transductor / efector, etc.).

Desde un punto de vista evolutivo, la importancia de las moléculas informativas es su independencia y versatilidad para participar en diferentes unidades químicas.

Por otra parte, si existen múltiples copias potencialmente utilizables de un gen particular, la evolución puede brindar cambios (mutaciones) en una o más copias que estén fuera de uso y ensayar su utilidad en otras funciones, sin causar disrupción de la función que desempeña el gen original. Es lógico suponer que a nivel molecular también se produce una selección natural darwiniana (8) que en el caso de los ARNs podría haberse materializado en una mejor replicación, lo cual eventualmente condujo a la selección del ARN más eficiente para replicarse y controlar conjuntos autocatalíticos (hiperciclos) que contribuyeron a formar las primeras células (procariontes). Al alcanzar este estadio probablemente se comenzaron a establecer las primeras comunicaciones celulares, que se desencadenaron con el intercambio de las señales más básicas y ancestrales para regular sus funciones: las feromonas.

Particularmente, el estudio de los sistemas secretores es un tópico selecto para analizar la evolución de la comunicación química. Básicamente podemos considerar dos sistemas secretores en la biosfera:

1) **sistema exocrino primigenio** (e.g. sistema feromonal de organismos uni- y multicelulares);

2) **sistema endocrino** (e.g.: sistemas hormonal, nervioso e inmune de organismos multicelulares).

Los biorreguladores exocrinos primigenios probablemente cumplieron un rol **nutricional** (12) (señales de alimento), **reproductivo** (13) (feromonas de atracción sexual y acoplamiento) y **defensivo** (12) (toxinas, feromonas de alarma).

Por lo tanto, la senda evolutiva por la cual la evolución biológica pudo haber transitado puede trazarse desde el control intracelular (secreciones intracelulares) en organismos unicelulares

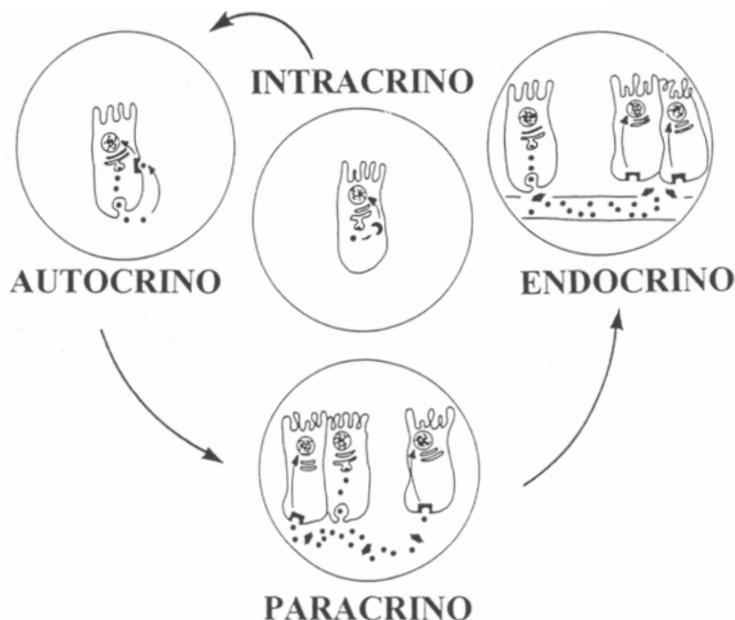


Figura 1: Evolución de los mecanismos secretores.

Sistemas de comunicación de los bioreguladores con sus sitios de acción. Las interacciones bioregulador-receptor no necesariamente involucran el transporte de los bioreguladores dentro de un organismo, desde su sitio de síntesis a las distintas células "blanco", como ocurre en la comunicación endocrina. Las células de organismos uni y multicelulares producen bioreguladores que regulan la función de células vecinas (comunicación paracrina). Además, algunas células regulan sus propias actividades (comunicación autocrina) por medio de bioreguladores que son producidos en la misma célula "blanco". Otros bioreguladores pueden sintetizarse y actuar dentro de la célula "blanco" sin salir y entrar nuevamente (comunicación intracrina).

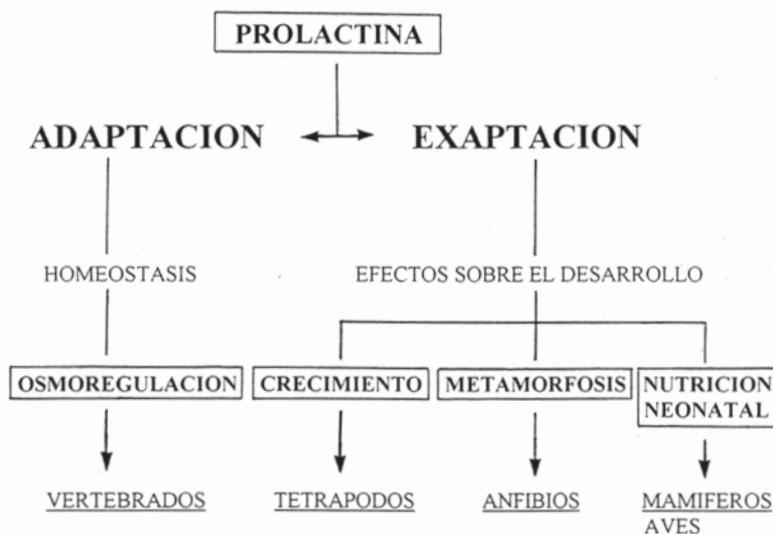


Figura 2 : Diversidad funcional de la prolactina a lo largo de la evolución de los vertebrados.

El rol original de la prolactina fue una función crucial para la supervivencia: el equilibrio del medio interno (homeostasis) por medio de la osmoregulación. Los efectos sobre el desarrollo fueron adquisiciones secundarias para otras importantes características: metamorfosis y reproducción. La nutrición neonatal como una función de la prolactina es consecuencia del estímulo inicial de esta hormona sobre las glándulas mamarias de mamíferos y el buche (tracto digestivo) de las aves durante el ciclo reproductivo. Esta diversidad de funciones de un mismo bioregulador se basa en el número de isoformas del receptor correspondiente.

hasta los más sofisticados mecanismos de regulación fisiológica (sistema glandular, nervioso e inmune) en organismos multicelulares, por medio de secreciones endocrinas (Figura 1). Además, es sabido que existen interacciones entre los diferentes sistemas secretores (endocrino, nervioso, inmune) (14).

Dichas interacciones entre los sistemas nervioso, endocrino e inmune nos llevan a otro interrogante: ¿cómo se produjo la evolución de estas sendas de señalización, en las cuales las moléculas participantes son funcionalmente versátiles e independientes?

Es probable que la deriva química al azar, que está estrechamente vinculada con el oportunismo en la evolución biológica (oportunismo evolutivo), haya iniciado la diversidad entre moléculas informativas, y que ésta diversidad condujera a la competencia. Además, el cambiante medio ambiente ejerció una presión selectiva sobre las moléculas informativas, provocando la extinción de algunas de ellas. Retornando al tema de la versatilidad e independencia de las moléculas-señal, es sabido que algunas de estas moléculas están caracterizadas por cumplir más de una determinada función pudiendo participar en diferentes sendas de señalización. Este tipo de oportunismo evolutivo no es extraño a los sistemas de señalización química y se denomina exaptación (15) (Figura 2). Por otra parte, es interesante señalar que muchas moléculas incorporadas por cooptación fueron no adaptativas en sus orígenes o fueron usadas en el pasado en funciones básicas totalmente diferentes.

En general la posible dirección en la evolución de las moléculas-señal está limitada por las restricciones estructurales. Ciertamente la conservación de la función de las correspondientes unidades bioregulador/receptor requiere restricciones estructurales (e.g.: conformación de los receptores transmembrana y su capacidad para unirse a bioreguladores ó para interactuar con proteínas G, etc.) para el mantenimiento de la homeostasis celular. Por lo tanto no todas las mutaciones que afectan a las estructuras de moléculas-señal son toleradas.

Probablemente las restricciones estructurales aseguran solamente la conservación de un proceso, pero la flexibilidad obtenida por las múltiples con-

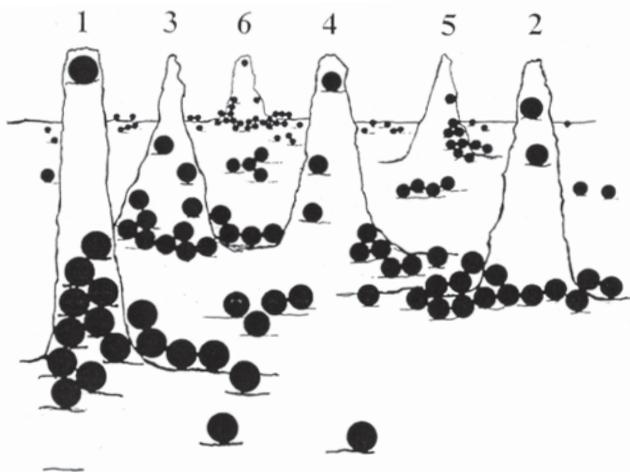


Figura 3 Adaptabilidad evolutiva molecular.

Cuando un **módulo químico** se aísla en su conformación dominante que posee eficacia biológica (darwinian fitness) localizada óptima (pico), ella puede asumir otras configuraciones que proveen una salida para el surgimiento de nuevas características (e.g.: diferentes funciones fisiológicas de las neurohormonas de artrópodos, las diferentes funciones de nuevos receptores para prolactina y melatonina), las cuales evolucionan por selección natural. ●: moléculas informativas adaptativas, **pico 1**: función original, **picos 2-6**: nuevas funciones.

figuraciones alternativas toleradas para una determinada estructura molecular permitiría un aumento de la adaptabilidad evolutiva (Figura 3). Se puede asumir que la disyuntiva entre **conservación** y **cambio**, manteniendo un equilibrio para la supervivencia, está presente en todas las alternativas que brinda la evolución biológica.

En síntesis la **adaptabilidad evolutiva a nivel molecular es la capacidad del genoma para producir moléculas con capacidad de adaptación a nuevos roles**.

Ciertamente las múltiples funciones de las unidades químicas y las consideraciones hechas sobre el devenir evolutivo de las mismas lleva a plantear la siguiente pregunta: **¿Cómo surgieron las unidades químicas?**

Suponiendo que en los tiempos en que no existían organismos vivos hubo un lapso en el que tampoco existían catalizadores biológicos como las enzimas modernas, probablemente los ARN ejercían un doble rol: información genética y capacidad catalítica.

En general, la mayor parte de las enzimas modernas tienen especificidad por un único sustrato, lo cual es una especialización a nivel molecular. En consecuencia podemos suponer que si durante la evolución de la capacidad catalítica fue transferida del ARN a las proteínas, probablemente las proteínas pasaron por **estadios de transición** don-

de fueron más parecidas a moléculas multifuncionales con capacidad para ligar sustratos varios y catalizar con relativa eficiencia diversas reacciones químicas básicas para la vida celular. Probablemente muchos de estos estadios de transición (e.g.: protectores moleculares, receptores catalíticos, anticuerpos catalíticos) quedaron como relictos de un estadio anterior a las enzimas modernas (16, 17, 18).

Podría decirse que el proceso de selección no opera solo a nivel de las moléculas que forman una senda de señales; en verdad, **en la evolución biológica sólo las funciones son seleccionadas para el mejor desempeño de un organismo**. Por ejemplo, un proceso es frecuentemente conservado aún cuando las moléculas que intervienen en el mismo puedan diferir sustancialmente durante el transcurso de la evolución. Esta idea se ve sustentada por el rol que cumplen la **hormona juvenil (sesquiterpeno)** de los insectos y la **prolactina (péptido)** de los anfibios en el proceso denominado **metamorfosis** (12) que sufren ambos grupos de organismos durante su ciclo de vida.

II.B. NIVEL DE MÁXIMA COMPLEJIDAD

Un primer paso importante en la evolución de los organismos multicel-

ulares fue el mejoramiento de la capacidad de sus células para alterar sus características hereditarias y hacer posible la especialización de las mismas. Pero el sistema genético en sí mismo no puede adaptar los organismos durante su vida, debido a que es incapaz de responder a eventos específicos ambientales por medio de una inmediata adaptación genética.

Esencialmente, la limitación clave de los sistemas genéticos es su incapacidad para: a) registrar los continuos cambios del medio ambiente (depredadores, parásitos, características de los alimentos, intensidad de luz solar, humedad, viento, temperatura), b) distinguir un conjunto de circunstancias de otro y producir rápidos cambios adaptativos. Al respecto debemos considerar que los organismos están programados con un número de sistemas adaptativos (e.g.: nervioso, circulatorio, endocrino, inmune) los cuales poseen mecanismos fijados durante el transcurso de su vida, y muchas características biológicas están siendo adaptadas continuamente a los cambios ambientales de pequeña escala.

Si los cambios que se producen tienen la probabilidad de alcanzar la restauración del estado de equilibrio denominado **homeostasis**, la evolución puede favorecer un proceso de **cambio- y -prueba**, el cual también es adaptativamente ciego a los eventos futuros.

Realmente, los procesos de cambio-y-prueba adaptan los organismos para el **adentro/ presente**, por lo tanto estos procesos son sólo capaces de descubrir adaptaciones que inmediatamente corrigen el disturbio de un parámetro variable esencial.

El mejoramiento en la capacidad para adaptarse al **afuera/futuro** requirió una innovación en la capacidad para registrar el medio ambiente externo: nuevos órganos sensoriales y un sistema nervioso integrador de creciente complejidad que dió origen a un comportamiento proyectado hacia el futuro. La compleja actividad comportamental de los vertebrados es el resultado de complicadas interacciones neuronales, dentro del **sistema nervioso central (SNC)**. Los cambios ambientales rápidos y de corta duración pueden evocar inmediatas y particulares respuestas en los individuos por medio de la activación de determinados

circuitos neuronales, utilizando para ello una variedad de moléculas neurotransmisoras.

Por otra parte, debido a que las adaptaciones para el afuera/futuro tienen una ventaja evolutiva, es probable que el tipo de recompensa para el individuo sea algo más que el equilibrio homeostático de las variables fisiológicas esenciales.

El nuevo sistema de recompensas, probablemente premiaba inmediatamente los comportamientos que producían beneficio a largo plazo. Este sistema interno de recompensas, que toma en cuenta los futuros beneficios de los posibles comportamientos, comienza a ser usado más extensamente cuando aparecen complejos y evolucionados ordenamientos sociales en los organismos mamíferos.

Ciertamente los organismos consumen sus vidas buscando la mejor adaptación al medio ambiente, y tratando de optimizar la recompensa por dicho comportamiento. En los organismos con sistemas nerviosos complejos (e.g.: mamíferos), la búsqueda del placer y estados emocionales deseables, evitando los no placenteros, es un refinamiento en la adaptación al medio.

Particularmente en la evolución de las comunidades humanas un claro avance fue la incorporación de la co-

municación oral como sistema de alta velocidad para la transmisión de información entre los homínidos. El surgimiento de un sistema de comunicación oral complejo de máxima velocidad fue el resultado de un proceso evolutivo que se extendió durante los últimos dos millones de años cuando se produjo una muy rápida expansión del tamaño del cerebro, la cual está íntimamente vinculada con la aparición de una nueva capa de células cerebrales denominada neopallio, neocerebro o neocórtex.

Enfocando el tema desde la anatomía, en el género *Homo* la adquisición del lenguaje dependió del desarrollo de un módulo especializado en el cerebro, que en parte está formado por el área temporal izquierda donde se hallan las regiones denominadas área de Broca y área de Wernicke (Figura 4).

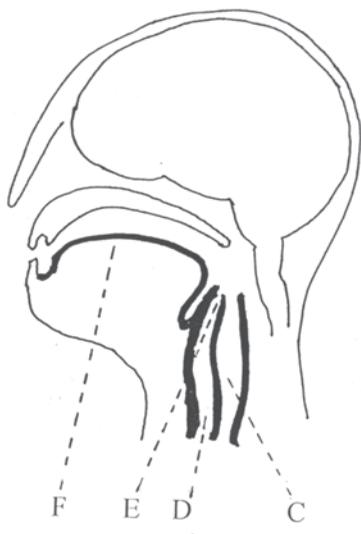
La base anatómica de la palabra se halla no sólo en estas dos áreas, también reside en la funcionalidad del cerebro que involucra conexiones asociativas en gran parte de la masa encefálica.

El neocórtex es el sitio de mayor importancia en la conducta de los animales complejos (e.g.: homínidos), el cual incluye las áreas vinculadas con el procesamiento del lenguaje (Figura 4), y dió origen al género *Homo*. Estos

primeros representantes del género *Homo* [*Homo habilis*: 2,0-1.6 x10⁶ aap (años antes del presente)] que poseían un tamaño cerebral que variaba entre 500 y 800 cm³, sufrieron cambios decisivos durante cerca de dos millones de años, que permitieron el arribo del *Homo sapiens* actual con un volumen cerebral que oscila entre 1.200 y 1.500 cm³. Uno de dichos cambios fue el **decrecimiento en la masa corporal e incremento en el tamaño relativo del cerebro (encefalización)**.

En realidad el desarrollo del encéfalo de los homínidos comenzó con *Australopithecus afarensis* (4,0 - 2,5 x 10⁶ aap), y hace aproximadamente 40.000 años que no sufre cambios anatómicos importantes en el *Homo sapiens* para justificar los cambios cognitivos. Ciertamente el elemento transformador que causó un aumento cuali-cuantitativo del conocimiento en el *Homo sapiens* fue el **lenguaje oral** y su principal producto la aceleración en la comunicación de los homínidos, lo cual permitió organizar grupos dispersos de homínidos en poblaciones jerarquizadas y estables. Este cambio de estructura social fue el que propulsó el gran avance tecno-sociopsicológico y del mejoramiento de los hábitos y calidad de vida de los seres humanos modernos.

HOMO NEANDERTHALENSIS



HOMO SAPIENS



Figura 4: Superficie cortical del hemisferio izquierdo en el cerebro del *Homo sapiens* donde se destacan las zonas primarias del lenguaje (A, B). En el tracto oral se observan las diferencias anatómicas que indican el descenso de la laringe en el *H.sapiens* con respecto al *H.neanderthalensis*. **A:**Área de Broca, **B:**Área de Wernicke, **C:** Esófago, **D:** Tráquea, **E:** Laringe, **F:** Lengua, **G:** Paladar. El área de Broca está relacionada con el aspecto sintáctico y fonémico del lenguaje. Los daños en este área provocan un habla lenta y dificultosa. El área de Wernicke es decisiva en la comprensión del lenguaje. Cuando se lesiona, el lenguaje es fluido pero se pierde la comprensión.

Pero un interrogante que motivó estudios adicionales fue **¿por qué se desencadenó el proceso de encefalización?** Los investigadores que examinaron la correlación entre ecología y tamaño cerebral en primates señalaron que las diferencias intrafamiliares en el grado de encefalización depende de las diferencias dietarias (19). Se sabe que los **frugívoros** tienen una relación tamaño cerebro/tamaño corporal mucho mayor que los **foliívoros**, debido probablemente a que los frutos pueden ser mucho más escasos y menos predecibles espacial y temporalmente que el alimento de los **foliívoros**, requiriendo una incrementada capacidad de memoria y consecuentemente un cerebro más grande. Por otra parte el permanentemente activo cerebro humano, que no puede acumular nutrientes, es metabólicamente costoso dado que consume mucha más energía que lo que podría esperarse para un órgano de su tamaño. Se sabe que el cerebro humano utiliza el 20-25% del metabolismo en reposo, mientras que el resto de los mamíferos ocupan en promedio el 3% de su metabolismo en reposo. Para poder brindar la energía suficiente a un metabolismo tan importante y posibilitar las expansiones del cerebro humano, se supone que se produjeron cambios en los hábitos alimentarios: 1) la incorporación de una dieta balanceada de ácidos grasos poliinsaturados (e.g.: araquidónico) procedentes de alimentos lacustres (peces, moluscos), 2) la cocción de los alimentos. Estos cambios que posibilitaron una más fácil y rápida digestión están correlacionados con una reducción del tubo digestivo (20).

Resumiendo, los cambios importantes y coordinados que colaboraron con el pasaje de un lenguaje de voces inarticuladas, gruñidos y sonidos onomatopéyicos a un lenguaje oral de alta complejidad y velocidad, que fue una herramienta de colosal impacto en el desarrollo biopsicosociocultural del género *Homo*, habrían sido los siguientes: 1) **el bipedalismo**, que asociado a 2) **la respiración en posición erecta** favoreció 3) **el descenso de la laringe**, y por último 4) **un cambio de dieta** caracterizado por una mayor ingesta de carne, más blanda que los vegetales fibrosos, lo cual causó una 5) **modificación de la estructura**

bucal y facial, llevó a una reducción de los dientes y al desarrollo de músculos que comenzaron a controlar de manera refinada los movimientos de la lengua, labios y mandíbulas. Todos estos cambios probablemente ayudaron a mejorar la calidad del lenguaje (21), lo cual sumado al aumento de la masa encefálica aceleró cuantitativa y cualitativamente la capacidad mental. Probablemente hay otras razones que explicarían: a) el surgimiento del lenguaje oral humano, b) que la comunicación oral por medio de un aparato fonológico de alta velocidad sea una exaptación de una función original diferente. Es sabido que el neocórtex de los homínidos, que ya aparece en los mamíferos más evolucionados recubriendo al **paleocórtex**, incrementa el número de neuronas y de interconexiones neuronales. A medida que ascendemos en la complejidad del sistema nervioso de las especies el neocórtex sufre un desarrollo creciente y llega a la máxima expansión en el *Homo sapiens* cumpliendo una función asociativa / proyectiva: **nace el proceso evocativo / imaginativo**.

Tal vez la función genuina y original del lenguaje haya sido el mecanismo de disparo del proceso evocativo / imaginativo, y no de un sistema comunicacional como el actual. Esta hipótesis se podría justificar con los siguientes argumentos: 1) el lenguaje hablado o escrito en su actual forma nunca fue un vital elemento para la comunicación en las condiciones primigenias en que se desarrolló la vida del *Homo sapiens*; 2) los homínidos eran **recolectores / cazadores** cuyo olfato no era el más agudo de sus sentidos al compararlo con el olfato de otras especies, lo cual los hacía menos eficientes para la búsqueda de alimentos; 3) un código espacial creado por los homínidos, que es inherente a la estructura del aparato visual, les permitió construir mapas espaciales y sumarlo a señales sonoras para marcar las fuentes de alimentos que les proporcionaba el medio ambiente.

La utilización de señales sonoras orales fue probablemente una estrategia que sirvió para identificar las fuentes de alimento, lo cual obligaba a los homínidos a **evocar / imaginar** una imagen definida cuando escuchaban la señal sonora correspondiente. De esta manera se fue creando un

lenguaje con la semántica correspondiente y paralelamente se desarrolló la **abstracción** como mecanismo de proyección (imaginación). Esa capacidad de imaginar tiene su base neurológica en la aparición del neocórtex, el cual forma parte del 20% del proceso de encefalización que no está asociado al crecimiento corporal (22).

Dicha función imaginativa no le impidió al *Homo sapiens* apreciar el mundo real y hacer la distinción entre ambos tipos de representación de hechos: los imaginarios y los reales. Se considera que **la clase de mundos reales percibidos por los sistemas nerviosos de las diferentes especies, y su utilización en la resolución de problemas o situaciones críticas que afectan su desarrollo y/o supervivencia, es una medida de la inteligencia que poseen (22)**.

Conviene recordar que el lenguaje oral es considerado el resultado de la evolución biológica y lo que es heredable genéticamente es la capacidad de aprender y emplear un lenguaje oral.

Probablemente la selección natural maximizó el éxito reproductivo de ciertos genes que favorecieron el desarrollo del lenguaje oral. Al respecto se sabe que el gen FOXP2, localizado en el cromosoma humano 7q31 es el primer gen descrito como vinculado al desarrollo del lenguaje oral (23). Se sabe que la proteína FOXP2 ha sido muy conservada dado que hasta la divergencia evolutiva entre roedores y primates, solo aparece una de las tres variaciones en aminoácidos que existen entre seres humanos y ratones.

Después de la divergencia evolutiva chimpance-hombre, hace 6 millones de años, se acumulan dos cambios adicionales en los aminoácidos que constituyen dicha proteína. Si bien se considera que de acuerdo al registro fósil del tamaño del cerebro y anatomía del tracto oral del *Homo sapiens* el desarrollo del lenguaje oral habría comenzado hace más de 150.000 años, la última mutación sufrida por el gen FOXP2 quedó establecida en la población humana en el período 200.000-120.000 aap (24), y la expresión del total desarrollo del lenguaje oral ocurrió hace aproximadamente 50.000 años (25). Es sabido que los individuos con alteraciones en el gen FOXP2 tienen múltiples dificul-

tades para la recepción y emisión del lenguaje oral (26), manifestándose fenotípicamente por impedimentos para realizar los movimientos finos orofaciales ligados al habla refinada de los seres humanos normales actuales.

Las mutaciones que condujeron a la aparición del gen FOXP2 probablemente estuvieron ligadas a otros eventos (e.g. formación de grupos con mayor cohesión social). Al respecto es sabido que el desarrollo de los lóbulos frontales está involucrado tanto en la adquisición del lenguaje como en el desarrollo de la vida social, por ello se denomina a estas estructuras el **órgano de la civilización**.

Se supone que en el inicio del desarrollo cognitivo humano se introdujo una capacidad motora para modelar, llamada **mímesis**, la cual crea representaciones que tienen la crítica propiedad de ser recuperables (autoestimulo). Esta temprana capacidad motora, intermedia entre los mecanismos de comunicación de los monos antropomorfos y el lenguaje humano moderno, parece haber sido esencial para la invención del lenguaje hablado, dado que para recuperar la memoria motora almacenada se necesita **la capacidad de abstracción**. Sin un fácil e independiente acceso a la recuperación voluntaria de los recuerdos de movimientos corporales, la repetición y el refinamiento de una habilidad motora hubiera sido imposible. Con la **mímesis** todo el cuerpo deviene una potencial herramienta para la expresión, y una variedad de nuevas actividades ingresa a la arena social: juegos, competición, transmisión del conocimiento y expresiones vocales que revelan estados emocionales (agresión, alegría, temor). La evidencia cultural dejada por *Homo erectus* (1.800.000-300.000 aap) confirma la presencia de una elemental manualidad que causó una **evolución tecnológica**, dado que manufacturó herramientas de piedra de cierta complejidad. Esta elemental manualidad está correlacionada con la limitada capacidad lingüística atribuida al *Homo erectus*, que produjo el denominado **protolenguaje**, siendo su nivel equivalente a la capacidad lingüística de un niño de dos años de edad. Por esta razón la evolución motora es central a cualquier aceptable valoración filogenética del lenguaje, dado que la emisión de sonidos en el lenguaje oral

humano es sumamente precisa y necesita un muy fino control de la motricidad de la lengua, los labios y las mandíbulas. En síntesis los recuerdos corporales recuperables fueron las primeras verdaderas representaciones, y también la más básica forma de reflexión, que a la vez sirvió para establecer la **comunicación no verbal** del *Homo sapiens*.

Es aceptado que los monos antropomorfos están mucho menos desarrollados que los humanos en al menos dos áreas: 1) la construcción de modelos de acción consciente y 2) la recuperación independiente y voluntaria de tales modelos almacenados en la memoria (27).

Probablemente el surgimiento del lenguaje oral humano haya sido el producto del simple azar evolutivo dado que no tenía nada de natural u obligatorio. El lenguaje oral humano podría no haber emergido con las características y en el momento en que lo hizo, y probablemente otras formas diferentes de lenguajes podrían haber aparecido como medios de comunicación y contenido de conocimientos, tal como ocurre en otras especies (28). Dentro de este marco de referencia podemos suponer que hasta la aparición de los homínidos no existieron organismos que pudieran recordar los recuerdos a voluntad, dado que un acto mimético requiere una alta capacidad de abstracción. La forma básica de la rememoración en los humanos es el autodesencadenamiento del movimiento por repetición intencional.

Además y en contraste con el natural control intencional del habla que poseen los humanos, en el caso de primates no humanos se observó que la vocalización es una tarea imposible en ausencia de un estado emocional apropiado.

Se piensa que las áreas que son parte del proceso de encefalización que ocurrió en los homínidos, y tienen relación con el lenguaje humano, tuvieron desarrollo en el hemisferio izquierdo debido a una asimetría funcional (lateralización del cerebro) establecida previamente. La prueba de que la lateralización del cerebro de los humanos (29) tiene orígenes prelingüísticos está basada en hallazgo sobre manualidad y lateralización en primates o humanos. Dicha asimetría funcional evidencia en el control fino que realiza el hemisferio izquierdo en el manejo de herramientas y en movimientos de

destreza que son ejecutados por la mano derecha (dominante). Esto sugiere que la lateralización del cerebro puede haber evolucionado originalmente en respuesta a presiones selectivas para los movimientos de gran destreza o precisión (e.g.: la caza, la defensa personal). Obviamente dicha destreza en la motricidad aplicada a la representación gestual (mímesis) fue necesaria para el desarrollo del lenguaje de señas o gestual humano que precedió al lenguaje oral de alta velocidad. En consecuencia el establecimiento de un centro de control de la motricidad fina en una determinada región facilitó el desarrollo de las áreas de Broca y de Wernicke en el lóbulo temporal izquierdo del cerebro humano. Recapitulando podemos decir que las causas principales de la aparición del lenguaje oral son: **a)** la actividad manual y el desarrollo de las técnicas que actuaron como catalizadores en la aparición del control de la motricidad fina para la emisión de los sonidos del lenguaje oral humano, **b)** la necesidad de un proceso e abstracción que permitió elaborar un código para la identificación del medio ambiente. Desde un punto de vista filogenético una de las adquisiciones más fascinante de la historia de la biología fue la llegada de la mente humana al escenario evolutivo.

La aparición del lenguaje oral humano produjo un hecho paradigmático en la historia de la biología:

la aceleración del desarrollo de la mente humana y consecuentemente la gran amplificación de la cultura del *Homo sapiens*.

Se considera que la mente humana estaría compuesta por diferentes módulos cognitivos o inteligencias (30,31,32), cada uno con su memoria y su área de conocimiento especializado. Por ejemplo áreas cognitivas para: i) la técnica, ii) la historia natural, iii) las relaciones sociales, iv) la emoción / percepción, v) la semántica y adquisición de la gramática, vi) la economía de la inversión/recalibración de esfuerzos (31).

Estos módulos cognitivos en un principio habrían funcionado independientemente al estilo de una "navaja suiza", y recién cuando se produjo un funcionamiento integrado de los mismos, se espiralizó el crecimiento lingüístico/cultural que caracteriza la **fluidez**

cognitiva del *Homo sapiens* contemporáneo (30). Se sabe que la mente del *Homo sapiens* sufre durante el desarrollo una metamorfosis funcional: hasta los dos años de edad la mente de los seres humanos funcionaría como un programa general de aprendizaje, y sólo después de esa edad se produciría la modularización de la mente (31).

Obviamente estos módulos especializados, que en etapas previas de la evolución de los homínidos funcionaron independientemente, culminan su proceso de maduración o metamorfosis funcional con una integración de los conocimientos (fluidez cognitiva). En los seres humanos la etapa de la inteligencia preoperativa (2-7 años) es en la cual se desencadena el desarrollo del lenguaje. A partir de ese tiempo aprende unas 10 palabras nuevas por día alcanzando a los seis años de edad un vocabulario de aproximadamente 10.000 palabras (33). La aceleración en el desarrollo de la mente humana implica el pasaje por diferentes **estadios cognitivos**, los cuales comienzan en el Paleolítico Superior, hace aproximadamente 35.000 años y muestran la capacidad mental del humano moderno como un palimpsesto de un estadio cognitivo que posee rasgos que son de reciente aparición, superpuestos sobre primitivas características remanentes.

Intercalado, e íntimamente vinculado, entre la adquisición del lenguaje oral y la evolución cultural se halla el proceso cognitivo. Este proceso involucra mecanismos neuronales que le permiten al cerebro estructurar conceptos sobre el mundo exterior en base a percepciones sensoriales. Existen diferentes teorías sobre como adquiere información el cerebro humano. Por una parte la **teoría computacional** según la cual el cerebro actúa como una computadora (entrada/salida), debido a que los genes durante el desarrollo embrionario establecen conexiones o un circuito de neuronas.

Otros investigadores sugieren que se produce una estabilización de sinapsis neuronales cuando un proceso selectivo actúa sobre las sucesivas instalaciones y ajuste de efectos epigenéticos en redes neuronales (32). Es decir el desarrollo de la mente es a nivel neuronal más un proceso selectivo que un proceso instructivo, produciéndose la eliminación de muchas redes neu-

ronales mientras que otras son potenciadas hasta llegar a un nivel de ajuste adecuado. Extrapolando estos conceptos podemos decir que el aprendizaje en los homínidos involucra mecanismos selectivos; **pensar es hacer selecciones**. Para ello el cerebro tiene una capacidad llamada memoria que registra como improntas las impresiones registradas por los sentidos, con las cuales se realizan selecciones y categorizaciones perceptivas. Con dichas categorizaciones se elaboran prerrepresentaciones de las improntas registradas (huellas de la memoria) que luego sufren un proceso de selección. En este mecanismo estarían involucrados "mapas" de neuronas que formarían Láminas de redes neuronales en diferentes niveles del sistema nervioso (34).

De acuerdo al conocimiento actual existirían dos tipos de memoria: **1) la memoria de corto plazo o de trabajo**, es la memoria que acumula una reducida cantidad de información; aproximadamente entre 5 y 7 bloques de información ("chunks") (35) por un corto tiempo (20 segundos), **2) la memoria secundaria o de largo plazo**, la cual acumula una mayor cantidad de información dejando huellas permanentes por un largo tiempo y además se reactualiza cuando es necesario. Brevemente, la memoria no funciona como una simple acumulación de información; en realidad es un proceso de activa categorización, o recategorización, de percepciones. Debemos considerar que esencialmente la mente trabaja como un procesador de conceptos, pero su funcionamiento es impulsado por la memoria.

En rigor, la memoria es un "archivo" de conceptos porque la memoria es capaz de organizar el conocimiento en conceptos. Pero la memoria también es un sistema dinámico que almacena y recupera una evolutiva población de pensamientos que son creados para todos los escenarios posibles en forma continuada.

La mente es remarcadamente adaptativa ontogenéticamente (característica Lamarckiana), dado que retiene la capacidad para hacer cambios adaptativos por medio de variación y selección natural de las sinapsis neuronales en el mismo individuo.

En el área de la evolución cultural humana existe una teoría evolutiva

gen-cultura. Los procesos genéticos y culturales no son independientes; algunos genes y características culturales están ligados en la misma forma que dos loci genéticos. En realidad, la evolución humana tiene la capacidad para generar asociaciones genotipo-fenotipo con frecuencias no-aleatorias. Particularmente, en evolución humana, lo que es realmente replicado es un complejo biocultural: el fenogenotipo (36).

Ciertamente el fenogenotipo es una unidad replicable de la evolución humana, porque es un "paquete" de información genética y experiencia.

El **aprendizaje social** es una forma de herencia Lamarckiana que acopla un mecanismo de flexibilidad fenotípica (aprendizaje) con un esquema para la transmisión de resultados del aprendizaje pasado.

El procesamiento mental de la información o conocimiento adquirido es competitivo en el clásico sentido Darwiniano; por ejemplo, la desaparición de los Neanderthales (*Homo neanderthalensis*). Una hipótesis sobre este tema es la siguiente: **la desaparición del *Homo neanderthalensis*, que ocurrió hace aproximadamente 30.000 años, y la evolución continuada de los ancestros humanos fue debida en parte a la habilidad lingüística superior del hombre de Cro-Magnon (*Homo sapiens*).**

Esta hipótesis está basada en los cambios rápidos de la evolución humana que ocurrieron poco después del remplazo del hombre de Neanderthal, y dichos cambios probablemente se tradujeron en diferencias en la forma de pensar de los humanos. Durante un largo período de tiempo, desde 100.000 aap hasta 30.000 aap, el *Homo neanderthalensis* y el *Homo sapiens* tuvieron la oportunidad de coexistir interactuando quizás de manera competitiva. En dicha situación es plausible que fueran diferenciándose en su nivel cognitivo/cultural, debido al desfase en el dominio del lenguaje oral que favoreció al *Homo sapiens* en su rápida evolución.

Probablemente cuando la sintaxis se estableció en el lenguaje humano y los individuos adquirieron el mismo significado para las palabras (semántica) el lenguaje oral pudo transmitir un mensaje con mayor precisión, lo cual sumado a un refinado control motor del habla proporcionó ventajas selectivas.

Por otra parte e independientemente de la prolongada incapacidad que sufrió el *Homo sapiens* para entender los cambios evolutivos que ocurrían contemporáneamente, los cuales eran pasos claves para su futura evolución, fueron la única especie que finalmente cobró consciencia y dió pruebas, expresadas racionalmente, del proceso evolutivo que sufren los seres vivos desde hace millones de años.

Este hecho, característico de la naturaleza de los homínidos, se debe a que por un lado los sucesos que dieron lugar a conspicuos cambios evolutivos, se produjeron por la convergencia de múltiples factores que no son fácilmente individualizables en el momento en que se gestan dichos cambios. Además, dicha incapacidad tenía una carencia material implícita: **la falta de información acumulada.**

Podríamos agregar que durante el período en que aparece *Homo sapiens* y convive con *Homo neanderthalensis*, probablemente las diferencias entre las especies no fueron tan tajantes, pero el menor tamaño poblacional, la menor longevidad debido a enfermedades degenerativas y la rudimentaria capacidad de expresión oral de *Homo neanderthalensis* (37) fueron suficientes razones para su extinción.

Fue merced al registro histórico de la información relacionada con la paleontología, anatomía, taxonomía y fisiología de los seres vivos que Darwin y Wallace de manera independiente dieron, 100.000 años después de la aparición del *Homo sapiens*, una visión global de los sucesos que probablemente ocurrieron durante la evolución biológica. Este razonamiento lleva a considerar un aspecto implícito fundamental: el aumento de conocimiento está insoslayablemente unido al aumento de la acumulación y transmisión de **información**. En cada etapa de la evolución (biológica, tecnológica, social, cultural) las sociedades o grupos humanos necesitaron una **masa crítica de información** para poder realizar un análisis profundo de la misma que condujera a un aumento genuino del conocimiento. A medida que avanzó la evolución humana dicha masa crítica de información o conocimiento, se alcanzó con rapidez creciente en diferentes oportunidades. Se calcula que el volumen de conocimiento de los seres hu-

manos se duplica cada vez con mayor celeridad (38). El aumento de conocimiento debido a la aceleración en el **flujo de información** produjo cambios debido a la fuerte gravitación de las nuevas **tecnologías** en diferentes áreas (biológica, tecnológica, social, cultural).

Es interesante observar que la **información**, al influir sobre la creación de conocimiento tecnológico, se autopotencia como área laboral de las sociedades modernas. Al respecto se sabe que en casi doscientos años (1800-1980) dentro de las actividades laborales de la sociedad moderna el área de la **información (I)** es la de mayor importancia 46,6%(1980), al compararla con otras tres principales actividades laborales como la agricultura (A), la industria (ID) y los servicios (S), las cuales arribaron en 1980 a: **(A)** 2,1%; **(ID)** 22,5% ; **(S)** 28,8% (38). Es conveniente señalar que el término **tecnología** define la extensión intencional de cualquier proceso natural que caracteriza a los sistemas vivientes. Es decir, **tecnología sería todo aquello que puede ser hecho excluyendo las capacidades que ocurren naturalmente en los seres vivos.**

Este concepto está íntimamente ligado con el concepto de cultura en su definición más amplia: **cultura es lo opuesto de naturaleza**. Por consecuencia podemos asumir a la tecnología como un importante componente de la cultura humana.

Al respecto el lenguaje sería un caso ambiguo ya que si bien fue desarrollado en parte por medio de una innovación porpositiva, lo cual es semejante a la adquisición de una tecnología dado que en los homínidos existió un interés en comunicarse, actualmente es considerado por algunos investigadores (39) una capacidad innata del cerebro humano.

Ciertamente la evolución de la comunicación durante la evolución cultural se caracterizó por una aceleración vertiginosa de cambios en la forma de vida del *Homo sapiens*.

El resultado ha sido una creciente y compleja cultura del conocimiento adaptativo, la cual es transmitida de generación en generación. Esto sugiere que la evolución del lenguaje pudo haber provisto ventajas para la reproducción, la supervivencia y la evolución cultural, y además sería la senda por la cual el lenguaje pudo

haber conferido una ventaja al *H. sapiens* dotado de un lenguaje oral refinado, para arribar con mayor eficiencia a las metas primarias: **supervivencia y reproducción.**

La evolución cognitiva fue indudablemente espiralada en forma rápida en una compleja e interconectada trama de adaptación, coevolución y co-opción entre las características cerebrales para enfrentar las cambiantes interacciones ecológicas y sociales. El paso clave para manejar algunos aspectos del comportamiento social, tales como el surgimiento de una estable división del trabajo y el establecimiento de alianzas entre individuos, utilizó el lenguaje oral humano para incrementar la presión selectiva para la supervivencia. En síntesis, el lenguaje oral humano es más que un medio de comunicación; ciertamente es la base para el desarrollo de **a)** el pensamiento, **b)** la memoria, **c)** la reflexión, **d)** la resolución de problemas, entre otras capacidades vinculadas a la comunicación. Además, utilizando la capacidad de **imaginar**, posibilita la generación de las representaciones más vívidas de hechos pasados o futuros, siendo ésta la genuina y prístina función del lenguaje oral humano.

Este escenario evolutivo en cierto sentido provee la conexión entre la evolución cultural y evolución biológica, pero en otro sentido es una confrontación entre el conocimiento no-simbólico de los animales y las totalmente simbólicas representaciones de los humanos. Obviamente la representación simbólica fue la impronta y la principal característica cognitiva del *Homo sapiens*, lo cual le permitió desarrollar una forma de comunicación compleja. Esta nueva capacidad disparó cambios que alteraron su propia naturaleza y permitió la invención de algo diferente del vivir en sentido biológico como una magnitud fija: se inició la **instalación de móviles**, diferentes en cada instancia y en cada individuo, con proyectos de vida que transformaron al hombre en una especie singular y conspicua en la biósfera. La concatenación de estos hechos selló el establecimiento de lo que fue una revolución que compactó el tiempo evolutivo, produciendo una aceleración fascinante en su crecimiento biopsicosocial por medio de la **tecnología** como parte de la **cultura** y de la **naturaleza humana.**

GLOSARIO

Acidos nucleicos: Son macromoléculas en cuya composición participan nucleótidos, estando integrados estos últimos por una base, un azúcar y un grupo fosfato. Existen dos tipos de acidos nucleicos: a) el ácido ribonucleico (**ARN**) cuya composición incluye el azúcar ribosa y las bases adenina(A), guanina(G), citosina(C) y uracilo(U), y b) el ácido desoxirribonucleico (**ADN**) que contiene el azúcar desoxirribosa y las bases A, G, C y timidina (T) en lugar de U.

Adaptabilidad evolutiva: Capacidad de los organismos para generar diversidad genotípica no letal (9).

ADN codificante: Es el ADN que está siendo utilizado por la maquinaria celular para sintetizar las proteínas necesarias. Particularmente en los humanos actuales sólo el 1% del ADN celular es utilizado; el resto es ADN redundante(5) o genes temporalmente inactivos, que constituyen un reservorio para futuros cambios.

Autótrofos: Organismos que sintetizan moléculas orgánicas a partir de sustancias inorgánicas (e.g.: plantas).

Complementariedad molecular: Estabiliza evolutivamente a las unidades químicas frente a la degradación, y pone límites estrictos sobre las variaciones estructurales evitando que la evolución se realice al azar.

Cooptación: En el nivel molecular sería la selección e incorporación de una molécula externa, realizada por las moléculas que integran una senda de señalización, para realizar una función. Esta selección está basada en el reconocimiento y complementariedad estructural que ocurre entre varias moléculas en una senda de señalización. Por ejemplo un receptor ubicado en la membrana de una determinada célula selecciona o "captura" una molécula informativa (e.g.:hormona) la cual dispara una reacción encadenada en la cual intervienen diferentes moléculas (senda de señalización) que finaliza en una función biológica.

Deriva al azar: La producción de cambios evolutivos al azar en poblaciones reproductivas pequeñas, lo cual da por resultado cambios en el acervo génico de la población a lo largo del tiempo.

Diversidad biológica: Se refiere a la variedad de especies biológicas presentes en la biósfera e implica diversidad genética.

Epigenético: Conceptualmente se refiere a algo que originalmente no está presente pero que es adquirido posteriormente. La teoría epigenética es la que sostiene que el embrión se desarrolla a partir de una célula sin estructura que surge de la unión de dos gametas, y que las partes del cuerpo toman forma en una secuencia ordenada.

Eucariotas: Organismos que poseen células con núcleo.

Exaptación: Término utilizado para los casos en que una estructura (moléculas, células, tejidos, órganos, sistemas, etc.) dotada para una función original, posteriormente logra adaptarse para efectuar otra función. Por ejemplo la prolactina en peces cumple una función osmorregulatoria y con la aparición de los mamíferos adquirió la función de estimular la glándula mamaria para la secreción de leche (lactotrófica).

Fenotipo: La suma de todas las características de un organismo generadas por medio de la interacción entre el genotipo (conjunto completo de genes que porta un individuo) de un organismo y el medio ambiente.

Fluidez cognitiva: Es la integración de los diferentes tipos de inteligencias que se produciría en determinado momento de la maduración de la mente del *Homo sapiens* (30).

Feromona: El término se aplica a secreciones exocrinas (líquidas o gaseosas) que causan comunicación biológica e manera intra- o interespecífica entre organismos uni- o multicelulares.

Folióvoros: Organismos que se alimentan con hojas de vegetales.

Frugívoros: Organismos que se alimentan con frutos vegetales.

Genes mutadores: Los genes mutadores *umuC*, *umuD* y *din B* codifican varias enzimas diseñadas para generar mutaciones (ADN-mutaciones), las cuales pertenecen a un especial grupo de enzimas sintetizadoras de ADN (ADN polimerasas). El gen mutador puede trasladarse unido contiguamente de alguna mutación exitosa producida por él, y sobrevivir permanentemente en la población.

Genoma: La suma de todos los genes de los cromosomas individuales, no en pares, del conjunto de cromosomas nucleares en un eucariota o del contenido equivalente en un procarionte.

Hiperciclos autocatalíticos: Se piensa que pudieron haber existido como asociaciones de proteínas con moléculas informativas replicables (ARN) en sistemas autoreproductivos, los cuales probablemente posibilitaron la aparición de las células primigenias (9).

Heterótrofos: Organismos que necesitan sustancias orgánicas como nutrientes para su supervivencia (e.g.: animales).

Homeostasis: Capacidad de un organismo para restaurar el estado normal de equilibrio cuando un parámetro fisiológico clave (e.g.: temperatura, presión sanguínea, pH sanguíneo) se desplaza de su estado de máxima eficiencia y descompensa su estado fisiológico.

Información: Generalmente se considera a la información como un tercer aspecto de la materia, junto con la masa y la energía y se la define matemáticamente como una cuantitativa propiedad de signos, dentro de un determinado código, que está siempre unida a soportes materiales o energéticos o a cambios de estado (7).

Loci: Es el plural latino del término locus. Locus se utiliza para designar la localización de un gen determinado en un cromosoma.

Metáfora: Cambia el sentido común de las palabras por otro figurado. La utilización de la metáfora revela la capacidad de imaginar en su forma más trivial y pura, dado que son herramientas del pensamiento para clarificar un concepto. El uso de la metáfora es común en ciencia; Charles Darwin concebía metafóricamente al mundo como un tronco con diez mil fisuras en representación de las especies.

Metamorfosis: Literalmente es la transformación de una cosa en otra. En biología se utiliza para nombrar los cambios que se producen en diferentes estructuras, sistemas, formas, etc. Un ejemplo son los estadios que ocurren durante el desarrollo (o ciclo de vida) de un organismo en el cual se evidencian cambios de forma y de función (e.g.: del estado embrionario al estado adulto).

Mímesis: Es una preadaptación para el lenguaje basada en un sistema con memoria que puede repetir o imitar, refinando un movimiento voluntariamente, y almacenar (o recuperar) los productos de tal repetición.

Mutaciones: Cambios en el ADN que pueden ser en : a) la secuencia de bases (A,G,C,T) de nucleótidos en un gen, b) el reordenamiento de genes en los cromosomas, c) los cromosomas mismos.

Mutagenesis: Proceso que favorece las mutaciones, ayudando de esta forma a aumentar la diversidad genética.

Mutaciones silentes: Ilustrativo al respecto es la capacidad termorregulatoria de los mamíferos. Por ejemplo, puede ocurrir que entre los individuos de una especie aparentemente homogénea, que vive en ambientes sin temperaturas extremas, puedan surgir diferencias en la capacidad de supervivencia al ser sometidos a cambios abruptos en la temperatura ambiental.

Neocórtex: Es la porción cortical moderna externa del cerebro (2-3 mm de espesor) de los mamíferos más evolucionados, la cual envuelve al paleocórtex. Su función asociativa es preponderante y se considera la base funcional de la imaginación. Se puede decir que el paleocórtex en su comportamiento predictivo se dirige al futuro impulsado por experiencias pasadas, es decir deduce el futuro del pasado. El neocórtex construye el futuro apoyándose en el pasado pero considerando el presente; es decir que construye el futuro que imagina compatibilizándolo con el presente.

Ontogenéticamente: Se aplica al referirse a la ontogenia, que es la historia del desarrollo de un organismo individual.

Paleocórtex: Es una primitiva región cortical interna que aparece en todos los mamíferos y se denomina sistema límbico. El paleocórtex permite comportamientos estereotipados programados por aprendizajes primigenios incluyendo conductas instintivas (dominio territorial, búsqueda de alimento, celo y acoplamiento, establecimiento de jerarquías sociales). Este cerebro primitivo en los mamíferos está recubierto por el neocórtex.

Péptido: Compuesto formado por la unión de de dos o más aminoácidos.

Procariotas: Organismos que no poseen núcleo celular (e.g.: bacterias).

Proteínas G: Son proteínas de la membrana celular que sirven de canal de comunicación entre el mensaje químico (e.g.:hormona) que llega a la membrana de una célula receptora y las enzimas que en el interior de la célula amplifican dicho mensaje originando una respuesta fisiológica.

Protolenguaje: Cualquier forma de comunicación que contenga símbolos arbitrarios y dotados de sentido pero que carezca de todo tipo de estructura sintáctica (2).

Pseudogenes: Se los consideraba secuencias no funcionales del ADN genómico, derivados originalmente de genes funcionales. Actualmente se los considera genes potenciales ("protogenes")(5), ya que actuarían en la expresión y regulación de genes y en la generación de diversidad genética.

Reconocimiento estructural: Involucra una interacción crucial entre las moléculas se denomina unión o ligamiento ("binding"). El reconocimiento estructural a nivel molecular es un fenómeno básico para la diferenciación propio / no-propio, y se basa fundamentalmente en la complementariedad de moléculas con capacidad (enzimas, anticuerpos, receptores) para unir moléculas modificadoras (sustratos específicos, antígenos, hormonas) que regulan determinadas funciones. El reconocimiento estructural es un paso clave debido a que causa el ordenamiento de las sendas de señalización (biorregulador-receptor, receptor-transductor, transductor-efector, etc.)

Selección natural: Se puede definir como el proceso por el cual las especies o individuos que están mejor adaptados al medio ambiente son capaces de sobrevivir y reproducirse exitosamente. Se comete un error conceptual al considerar que la selección natural favorece a los individuos mejor dotados para la supervivencia; en realidad la selección natural favorece a los organismos que dejan mayor descendencia.

Sendas de señalización: Secuencia de reacciones encadenadas que con-

ducen a un efecto a nivel de la fisiología celular, y que pueden tener repercusión a nivel sistémico.

Sesquiterpenos: Son hidrocarburos de fórmula $C_{15}H_{24}$. Particularmente la hormona juvenil es un compuesto que regula la metamorfosis en los insectos a lo largo de diferentes estadios larvales, y cuando los niveles de la hormona juvenil descienden a valores muy bajos se produce la transformación del último estadio larval en adulto.

Sinapsis: Región de contacto entre dos neuronas o entre una neurona y un órgano efector (e.g.: músculo). A través de la zona de contacto fluyen los neurotransmisores liberados por la neurona presináptica, los cuales pasan a la hendidura o espacio sináptico hasta alcanzar los receptores que se hallan en la membrana de la neurona postsináptica.

Sintaxis: Las formas en que las palabras pueden ser combinadas y como estas diferentes combinaciones se relacionan con el sentido de las mismas.

Sistema límbico: Serie de estructuras nerviosas primitivas que aparecieron hace millones de años, que reciben y envían estímulos, y regulan : a) los actos voluntarios motivacionales (comer, beber), b) los actos emocionales (tendencias agresivas), c) las actividades sexuales, y d) interviene en los mecanismos de la memoria.

Sistema nervioso central: En los homínidos está formado por el cerebro y la médula espinal.

Unidades químicas: Unión de dos moléculas para formar una unidad, generalmente transitoria, que cumple determinada función en una senda de señalización.

■ BIBLIOGRAFIA

1. **Aiello L.** Hominine preadaptations for language and cognition. In "Modelling the early human mind" McDonald Institute Monograph Series, Cambridge, 1996.
2. **Calvin W.H. and Bickerton D.** *Lingua ex Machina*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 2000.
3. **Simpson G.G.** The meaning of evolution. Yale University Press, 1951.
4. **Kondrashov A.S.** Deleterious mutations and the evolution of sexual reproduction. *Nature* 336, 435-440, 1988.
5. **Balakirev E.S. and Ayala F.J.** Pseudogenes: are they "junk" or functional DNA? *Ann.Rev.Gen.* 37, 123-151, 2003.
6. **Schwemmler W.** Reconstruction of cell evolution: a periodic system. CRC Press, Florida, USA, 1984.
7. **Wolf G.** *Neurobiologie*. Akademie-Verlag, Berlín, 1974.
8. **Benner S.A., Ellington A.D. and Tauer A.** Modern metabolism as a palimpsest of the RNA world. *Proc.Natl. Acad.Sci.USA* 86, 7054-7058.
9. **Eigen M. and Schuster P.** The hypercycle. A principle of natural self-organization. Part A: Emergence of the hypercycle. *Naturwissenschaften* 64, 541, 1977.
10. **Kirschner M. and Gerhart J.** Evolvability. *Proc.Natl. Acad. Sci. USA* 95, 8420-8427, 1998.
11. **Gilbert, W.** Why gene in pieces? *Nature* 271, 501, 1978.
12. **Stoka, A.M.** Phylogeny and evolution of chemical communication: an endocrine approach. *J.Mol.Endocr.* 22, 207-225, 1999.
13. **Sacchetini, J.C. and Poulter, C.D.** Creating isoprenoid diversity. *Science* 277, 1788-1789, 1997.
14. **Ottaviani E., Franchini A., Caselgrandi E., Cossarizza A. and Franceschi C.** Relationship between corticotropin releasing factor and interleukin-2: Evolutionary evidence. *Febs Letters* 351, 19-21, 1994.
15. **Gould, S.J. and Vrba, E.S.** Exaptation, a missing term in the science of form. *Paleobiology* 8, 4-15, 1982.
16. **Csemerly, P.** Proteins, RNAs and chaperones in enzyme evolution. *TIBS* 22, 147-148, 1997.
17. **Chen, Z., Silva H. and Kleissig, D.F.** Active oxygen species in the induction of plant systemic acquired resistance by salicylic acid. *Science* 262, 1883-1886, 1993.
18. **Paul, S.** Natural catalytic antibodies. *Mol. Biotechnol.* 5, 197-207, 1996.
19. **Clutton-Brock, T.H. and Harvey, P.H.** Primates, brain and ecology. *Journal of Zoological Society of London* 190, 309-323, 1980.
20. **Aiello L. and Wheeler P.** The expensive tissue hypothesis. *Current Anthropology* 34, 184-193, 1995.
21. **Aiello L.** Terrestriality, bipedalism and the origin of language. In *The evolution of social behaviour patterns in primates and man*. Proceedings of the British Academy 95, 73-96, 1996.
22. **Witrock M.C.** The human brain. Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1977.
23. **Lai C.S., Fisher S.E., Hurst J.A., Vargha-Khadem F. and Monaco A.P.** A forkhead-domain gene is mutated in severe speech and language disorder. *Nature* 413, 519-523, 2001.
24. **Balter M.** "Speech gene" tied to modern humans. *Science* 297, 1105, 2002.
25. **Corballis M.C.** On the evolution of language and generativity. *Cognition* 44, 187-276, 1992.
26. **Watkins K.E., Dronkers N.F. and Vargha-Khadem F.** Behavioural analysis of an inherited speech and language disorder: Comparison with acquired aphasia. *Brain* 125, 452-464, 2002.
27. **Searle, J.R.** El misterio de la conciencia. Ed. Paidós Ibérica, Barcelona, 2000.
28. **Bickerton D.** Language and species. University of Chicago Press, 1990.
29. **Corballis, M.C.** Laterality and human evolution. *Psychological Review* 96, 367-408, 1989.
30. **Gardner, H.** Frames of mind: The theory of multiple intelligences. Basic Books, New York, 1983.
31. **Fodor, J.** The modularity of mind. MIT Press, Cambridge, MA, 1983.
32. **Cosmides L. and Tooby J.** Cognitive adaptations for social exchange. In *"The adapted mind"*, Oxford University Press, Oxford, pp163-228, 1992.
33. **Pinker, S.** The language instinct. W.Morrow, New York, 1994.
34. **Edelman G.** Neural darwinism: The theory of neuronal group selection. Basic Books, New York, 1987.
35. **Miller, G.A.** The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review* 63, 81-97, 1956.
36. **Durham, W.H.** Coevolution, Genes, Culture and Human Diversity. Stanford University Press, CA, 1991.
37. **Trinkaus E.** Neanderthal mortality patterns. *Journal of Archaeological Science* 22, 121-142, 1995.
38. **Beniger J.R.** The evolution of control. In *"Computers in the human context"* MIT Press, Cambridge, Mass. pp.49-70, 1989.
39. **Chomsky N.** Explaining language use. *Philosophical Topics* 20, 205-231, 1992.



INSTITUTO LEOIR
FUNDACIÓN



60 años produciendo conocimiento de excelencia

- 22 laboratorios en los que trabajan 170 investigadores, becarios y estudiantes.
- Repatriación de científicos argentinos.
- Evaluación trienal externa del desempeño de los investigadores.
- Biblioteca Nacional de Referencia en Bioquímica.
- Primera Agencia de Noticias Científicas y Tecnológicas Argentina.
- Convenios de vinculación tecnológica.

Av. Patricias Argentinas 435, Buenos Aires. (54-11) 5238-7500, www.leloir.org.ar

Ciencia y posmodernidad

Entrevista al Dr. Juan R. de Xammar Oro*

Palabras claves: modernismo, posmodernismo, ciencia, futuro, determinismo, caos, azar, teoría, paradigma.
Key words: modernism, posmodernism, science, future, determinism, chaos, hazard, theory, paradigm.

La expresión *posmodernidad*, en los medios de difusión y en el vocabulario cotidiano, fue ocupando un espacio a partir de los años 80, pero sus orígenes los encontramos después de la segunda guerra mundial, adquiriendo fuerza en los años 60 y 70. En estos años se hace visible un cambio en el que las sociedades entran en lo que se dio en llamar para la tecnología *edad posindustrial* y para la cultura *edad posmoderna*. La posmodernidad sería entonces la cultura que correspondería a las sociedades posindustriales, sociedades que se habrían desarrollado primariamente en los países más avanzados, pero debido al gran desarrollo de los medios de comunicación se extendió rápidamente a la mayoría de los países. En esta entrevista el Dr. Juan R. de Xammar Oro contesta sobre el papel y el lugar de la ciencia en las nuevas ideas de posmodernidad.

■ *** Juan R. de Xammar Oro** es Doctor en Física y se especializó en Biofísica. Es miembro de la Carrera del Investigador del Conicet y Profesor de la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional de La Plata. [xammar@Argentina.com]



Cel - Como hombre de ciencia, ¿qué nos puede decir sobre los cambios en el pensamiento humano a través del tiempo?

Tal vez la característica más trascendente del paso del tiempo sea que con él todo va cambiando. En cuanto a las transformaciones científicas, culturales, sociales, económicas, etc., si bien se han producido durante toda la historia de la humanidad, es en la *edad moderna* donde comienza a adquirir una velocidad cada vez mayor, resultando verdaderamente sorprendente en el siglo XX. Es aquí donde se empiezan a discutir los conceptos de *modernidad* y *posmodernidad*. Este corte, modernidad-posmodernidad, ha resultado fecundo para entender los cambios de las últimas décadas, particularmente de la llamada civilización occidental, que a mi entender tienen su raíz principal en la evolución de orden científico-tec-

nológico, es decir, sería imposible entender los cambios de orden cultural y social si no se hubiesen producido previamente aquellos, y esto vale para todas las épocas.

Cel - ¿Por ejemplo?

Cuando no existían el cine, la radio y la televisión, el mundo de la mayoría de las personas, pero particularmente de los jóvenes, se reducía a la ciudad o pueblo donde vivían, sus patrones de referencias culturales y sociales eran fundamentalmente su familia y vecinos, se trataba de ser como ellos. En cambio hoy, con el advenimiento de esas tecnologías, relativamente, importa poco el buen ejemplo de un padre, un maestro o un conocido de la familia, el lugar lo pasaron a ocupar los "ídolos" de los medios masivos de comunicación, principalmente de la televisión como actores, cantantes, músicos,

deportistas, periodistas, políticos, etc. Un padre desea educar a un hijo aconsejándole una orientación A y puede suceder que al minuto la televisión lo contradiga aconsejando otra B, con la desventaja que el hijo no solo le presta más atención a la televisión sino que ésta se comunica durante mucho más tiempo del que dispone el padre. Además la televisión cuenta con muy poderosos recursos para mostrarle la orientación B como lo son las imágenes, sonidos (música), diálogos, teatralización, efectos especiales, y todo previamente estudiado y planificado para lograr su objetivo. El padre no cuenta con estos recursos tecnológicos y actúa en forma espontánea, por desgracia, a esto debemos agregar que hoy existen otros padres que ya ni siquiera se preocupan en hacer algo por la educación de sus hijos, pues creen que en la era tecnológica la

crianza de los hijos se realiza automáticamente.

De una manera o de otra el resultado es que los jóvenes de hoy crecen formándose sin límites y sin modelos de identificación afectivamente cercanos.

Cel - Para usted, ¿cuáles fueron los cambios científicos más importantes que colaboraron para esa transición modernismo-posmodernismo?

Deseo contestar separando la respuesta en dos partes, una desde el punto de vista de las ciencias básicas y la otra en base a los vertiginosos cambios aportados por la tecnología.

He leído a algunos autores que escriben sobre temas de psicología, sociología y política, que evidentemente no poseen conocimientos sólidos en ciencias básicas, particularmente en física, sosteniendo con total ligereza que es "natural" que ocurran ciertos aspectos perjudiciales del posmodernismo como lo son el desorden, indisciplina, inestabilidad, inseguridad, delincuencia, anarquía, caos, etc., y que en consecuencia debemos aprender a convivir en esas condiciones, ya que en los últimos años la ciencia física ha "demostrado" que el Universo está gobernado por el azar y el caos. Pensar así se debe a una muy mala interpretación de la proposición del pasaje de un Universo "determinista" (modernismo) a otro "indeterminista" (posmodernismo). Tratemos de aclarar esto para que no haya confusión.

El concepto determinista nace con la *Teoría de la Mecánica Clásica* introducida fundamentalmente por Isaac Newton, quien hace tres siglos publicó su extraordinaria obra "Principios Matemáticos de Filosofía Natural", cuyo mensaje ha sido decisivo para la cultura de occidente, según ésta, el Universo es ordenado y predecible, tiene leyes expresables en lenguaje matemático y podemos descubrirlas, por ejemplo la ley de la dinámica que vincula fuerza, masa y aceleración es determinista, y a la vez reversible en el tiempo, esto quiere decir que si conocemos las condiciones iniciales de un sistema sometido a esta ley, es decir, su estado en un instante cualquiera (presente), podemos calcular de antemano todos los estados siguientes (futuro) y como es reversible en el tiempo (si se cambia t por $-t$, la ecuación permanece invariable) también es posible obte-

ner todos los estados anteriores (pasado). Así Newton justifica al célebre demonio de Laplace, hipotética inteligencia superior, que si para un instante dado conociese con total exactitud todas las fuerzas de que está animada la naturaleza y la situación respectiva de cada uno de sus componentes podría, en consecuencia, deducir toda la evolución futura y conocer con exactitud todo el pasado. Además Newton aplicó por primera vez, en forma fehaciente, el *Método Científico* el cual marcó un antes y un después en el camino para que las ciencias naturales tuvieran tanto éxito.

De esta manera la modernidad tenía un gran asiento en las ideas de Newton sobre un Universo determinista, en el sentido que el futuro está siempre fijado por el pasado. Esta promesa llevaba al hombre a tratar de perfeccionar los métodos para conocer con el máximo de exactitud posible los parámetros que describen un determinado sistema en el presente para así obtener con el máximo de exactitud su futuro, es decir, para la ciencia de ese entonces, la dificultad para resolver un determinado problema era: 1) conocer la ley que lo gobierna, 2) medir los parámetros, de la ecuación de esa ley, con la mayor precisión viable y 3) que la ley no sea aproximada sino lo más exacta posible. Esto resultaba sencillo para problemas simples pero cada vez más dificultoso a medida que se hacían más complejos, por ejemplo, pronosticar el tiempo meteorológico es un problema de altísima complejidad por la cantidad de parámetros que entran en juego y lo complicado de las ecuaciones que lo describe. En cambio, predecir el comportamiento de un péndulo que oscila en un medio gaseoso es relativamente sencillo.

Durante los siglos XVIII y XIX se aplicó la mecánica de Newton con impresionante éxito. El punto de vista mecanicista se popularizó y, combinado con el método experimental, dio tremendo impulso a la física, la química y la biología. Además se transformó en la base de nuevas teorías políticas, económicas y sociales. Así la modernidad exaltaba el ahorro, el trabajo, el futuro, el progreso, la familia, los principios éticos y morales. También los ideales, la planificación y la validez del sacrificio para lograr un futuro próspero.

La antigua concepción del caos como señor de la naturaleza, donde

las cosas sucedían por azar, por capricho, sin relación alguna entre causa y efecto, cedió paso a la visión de un orden en el mundo, tan determinado como el que muestra un buen reloj.

Cel - ¿Si estas ideas fueron tan exitosas durante el modernismo, cómo es que hoy en el posmodernismo se habla de caos, azar, incertidumbre, inestabilidad?

Como sucede siempre la última palabra nunca está dicha. El caos primitivo fue reemplazado por el orden newtoniano, sin embargo, a medida que el conocimiento de la naturaleza se afianzaba aparecían dificultades para el modelo mecanicista de Newton. En la primera mitad del siglo XX quedó claro cuales eran los límites de la mecánica clásica, su validez no alcanzaba para velocidades extremadamente grandes o para el mundo extremadamente pequeño. Producto de esta crisis surgieron dos nuevas ramas de la física, la *Teoría de la Relatividad* debida a Einstein y la *Teoría de la Mecánica Cuántica* debida a Heisenberg, Schrödinger, Planck, de Broglie, también a Einstein y otros.

La teoría de la relatividad corrige a la de Newton cuando se está frente a fenómenos con velocidades cercanas a la de la luz. En tanto que la mecánica cuántica establece, mediante el principio de incertidumbre de Heisenberg, un límite a la precisión con que se puede hacer las mediciones de parámetros para partículas de tamaño inferior al del átomo.

En la segunda mitad del siglo XX los físicos comenzaron a persuadirse de que existe un tercer límite y que a diferencia de los dos anteriores es además válido para el mundo de nuestra experiencia cotidiana. En muchas circunstancias se observan sistemas que pueden tener comportamiento caótico (indeterminado). Nace así otra rama de la física la *Teoría del Caos*.

Cel - ¿Sobre qué trata la Teoría del Caos?

La mecánica de Newton supone que causas pequeñas producen efectos pequeños y que, por lo tanto, un pequeño cambio en los valores iniciales, de las ecuaciones que describen el comportamiento de un sistema, debería producir un cambio proporcionalmente pequeño en el resultado que nos da a conocer su estado futuro. Experimentalmente se observa que esto se

cumple en una gran cantidad de fenómenos, pero hoy se sabe que existen otros, inclusive de diferente naturaleza (físicos, químicos, biológicos, económicos, sociales, ecológicos, etc.), que son extremadamente sensibles a los valores de sus condiciones iniciales, una mínima perturbación da como respuesta fuertes cambios, esto pone un límite a la posibilidad de predecir su estado futuro. Matemáticamente hablando, estos sistemas vienen descritos por ecuaciones no lineales que son muy difíciles de resolver. No fue posible encarar fehacientemente su resolución hasta la aparición de las computadoras, esto explica porque recién ahora se empiezan a estudiar intensamente a estos sistemas llamados de comportamiento caótico. Además la característica de las ecuaciones no lineales es que tienen más de una solución para el futuro de esos sistemas. Aquí aparece el indeterminismo. El que adopte una solución posible u otra dependerá de muy pequeñas fluctuaciones en determinados puntos del comportamiento dinámico del sistema, llamados *nodos de bifurcación*, que prácticamente a los seres humanos nos son imposibles de conocer por su extrema complejidad. Aquí viene el error que se suele cometer, ya que en principio al sistema se lo puede considerar determinista en sí mismo pero, al ser en la práctica extremadamente difícil medir y conocer con exactitud esas pequeñas fluctuaciones, que por ejemplo puede ser el movimiento térmico de las moléculas, se nos torna impredecible. Tampoco debe pensarse que el futuro del sistema es azar puro, ya que las soluciones de las ecuaciones no lineales están perfectamente determinadas, supongamos que esas soluciones sean cinco, entonces lo que es seguro es que el sistema, en su futuro, va a adoptar una de entre esas cinco y no cualquier otra solución al azar, por eso muchos físicos hoy prefieren hablar de *caos determinista*.

Ahora bien, existen además sistemas de muy alta complejidad, es decir, con un número de soluciones muy grande y aun cuando para éstos rija el determinismo, hay evidentemente una limitación de la posibilidad de predecir el comportamiento futuro. Sin embargo, no significa que no se pueda decir nada sobre los mismos, ya que siempre presentan muchas propieda-

des que se pueden comprender con la ayuda de la *teoría de probabilidades*, siendo esta mezcla de determinismo y probabilidad una forma muy fructífera de atacar estos problemas, aquí no decimos sucederá esto sino que damos el valor de la probabilidad de que pueda ocurrir, como se hace con el pronóstico del tiempo. Es decir, los eventos "azarosos" se vuelven "estadísticamente previsible". Podemos decir que las leyes que rigen los sistemas caóticos están bien definidas y son conocidas, asimismo tenemos modelos que explican muy bien su comportamiento.

Considero entonces erróneo pensar que se pasó de un Universo totalmente determinista (modernismo) a otro totalmente indeterminista (posmodernismo). Primero porque una gran cantidad de fenómenos que nos son cotidianos son en sí mismo deterministas, responden a ecuaciones lineales, por lo tanto con una única solución posible. Por ejemplo la puesta en órbita de un satélite responde totalmente a la mecánica de Newton y por otra parte, en los no lineales sí bien no conocemos su resultado exacto sí lo tenemos acotado a un número finito de posibles soluciones con sus respectivas probabilidades. El no saberlo con mayor exactitud se debe a lo complejo que resulta para la inteligencia humana poder conocer con precisión situaciones que son sumamente complejas, como por ejemplo toda la dinámica de las fluctuaciones microscópicas.

Cel - ¿Significa esto que si existiera el demonio de Laplace podría predecir cualquier evento?

Con este nuevo enfoque, el planteo de Laplace queda puesto en su justo lugar. No se trata de predecir con exactitud absolutamente todos los fenómenos que se manifiestan en la naturaleza en base a cálculos dados por leyes deterministas, ni Laplace ni ningún físico han imaginado que esto sea posible, pero el demonio de Laplace deja en claro que esta imposibilidad se debe primordialmente y en gran medida a nuestra imperfección, como seres limitados que somos. Solo un ser infinitamente inteligente, ilimitado en conocimiento y con capacidad de medir con exactitud matemática, podría conocer con buena precisión el comportamiento futuro del sistema, de no ser así, es

decir, de pensar en la posibilidad de un azar absoluto -acontecimientos que no tendrían que estar regidos ni siquiera influenciados por ninguna fuerza o ley de la naturaleza- implicaría negar el principio de "causa y efecto" y, en consecuencia, nos llevaría a postular la existencia de sucesos sin racionalidad, del creacionismo puro y espontáneo en la naturaleza, es decir algo que sucede simplemente por capricho, pero sabemos que un tal acontecimiento nunca fue observado experimentalmente. Debido al principio de incertidumbre, la mecánica cuántica nos muestra que es imposible determinar simultáneamente con exactitud el impulso y la posición de una partícula subatómica, pero no por esto podemos decir que lo que pueda acontecer es puramente azaroso ya que podemos acotarlo con métodos estadísticos dando la probabilidad de lo que puede acontecer, que de hecho es lo que se hace en mecánica cuántica. Es decir, a nivel microscópico (microscópico en el sentido de subatómico) tenemos cierta cuota de desorden en la naturaleza, pero acotado, y esto no justifica a los humanos, que además pertenecen al nivel macroscópico, decir que no puedan ser ordenados y que no vale la pena tratar de luchar por un futuro lo más predecible posible.

Por otra parte me pregunto: "para una partícula subatómica individual, ¿qué significa realmente <posición exacta> e <impulso exacto>, o <partícula> y <onda>?". ¿Será lícito extrapolar conceptos cotidianos de nuestro nivel macroscópico al microscópico, o también comportamientos de un conjunto de partículas al de una única partícula aislada?". Incluso a nuestro propio nivel, por ejemplo, ¿qué es la posición exacta de un tren ferroviario?, ¿su centro de masa?, si lo que deseo es que no me atropelle lo que me importa es la posición del frente de la formación y si lo que me interesa es pasar luego que él lo haga será la posición de su extremo final. Asimismo es bueno recordar que a ningún parámetro microscópico (parámetro que caracteriza una propiedad de una única partícula individual) se lo mide en forma directa. Lo que se hace es medir un parámetro macroscópico (de un conjunto de partículas) que es función del microscópico y luego mediante un

modelo y una teoría se llega (es decir indirectamente) al valor del parámetro microscópico, y si esto resulta útil se lo toma como "verdadero" (mejor sería decir que se lo considera útil). Por ejemplo, al menos hasta ahora, no hemos podido aislar en vacío una única molécula y medirle su momento dipolar eléctrico, lo que se hace es medir la permitividad eléctrica (parámetro macroscópico) de una sustancia compuesta por un número apreciable de esas moléculas y luego, como expresé antes, mediante un modelo y una teoría se obtiene dicho valor microscópico. Además no debemos olvidarnos que las mediciones no se hacen en forma instantánea, por lo tanto lo que realmente se obtiene como valor de un parámetro es en realidad el promedio temporal de todo lo sucedido durante el intervalo de tiempo que necesitó el método (técnica) empleado para medir.

Cel – ¿Quiere decir que aunque nosotros no podamos determinar el futuro, en la naturaleza sí está todo escrito?

¿Nuestra voluntad, libertad de elección, libre albedrío, sería solo algo ilusorio?

Esto es todavía una gran discusión y quién sabe si alguna vez llegaremos a saberlo con real certeza, pero así como pienso que no hay un azar absoluto tampoco creo en un determinismo absoluto. Considero que hay algo muy importante que todavía no conocemos. De cualquier manera daría lo mismo si se creyera en un determinismo o un azar absolutos, ya que de ser así podemos decir que o nos controla el determinismo puro o lo hace el azar puro, en consecuencia, para cualquiera de los dos casos, seríamos entes sin voluntad propia, ya que nos gobernarían de una u otra forma.

Designamos como propio todo lo que sale de nuestro cerebro pero en realidad no sabemos cómo realmente se generó una idea en nuestra cabeza, no sabemos que es nuestra voluntad. Toda una colección de estímulo-respuesta, de procesos neurofisiológicos, de secuencias de neurotransmisión, de transporte de electrones y protones, de interacción de fuerzas inter e intramoleculares dan lugar a un pensamiento y nos lleva a generar una idea, y esto no salió de la nada, no salió del azar puro, todos esos procesos cumplen con leyes, que pueden ser lineales o no, pero que tuvieron que cum-

plirse de acuerdo con el principio de causa y efecto. Podría haber sido una idea u otra según las fluctuaciones microscópicas, pero en cada caso lo que la originó fue una secuencia de fluctuaciones bien determinadas. Insisto, una idea no la generamos porque sí, responde a una historia, a una correlación temporal, ya que además de aquello que directamente nos este influenciando en el momento (presente) también deriva de las ideas anteriormente presentes en nuestra mente, de nuestra herencia genética y de cómo el medio ambiente influyó sobre nosotros a través del tiempo, es decir toda una secuencia de causas y efectos.

De cualquier manera la naturaleza se presenta tan compleja y diversa que para nosotros es como que las cosas que decidimos suceden por nuestra voluntad. Podría ser cierto que pensar que somos libres sea solo una ilusión y que los factores antes aludidos nos gobiernan de una u otra forma, pero reitero, al menos hasta hoy no lo sabemos.

Cel - De Laplace y Newton se pasó a las nuevas teorías ya mencionadas.

¿Quiere decir entonces que una teoría científica dada por válida en una época puede ser considerada equivocada en otra? Si es así, ¿el método científico falla?

Me agrada que me haga esa pregunta, es otro caso de mala interpretación. Muchas veces he escuchado decir que la ciencia física no nos da verdades (debemos entender verdades en el sentido de evidencias o utilidades) duraderas ya que las teorías de hoy son luego "destronadas" por otras del mañana. No es así, esto es pensar equivocadamente, es desconocer la metodología científica. Una hipótesis es aceptada como *teoría establecida* solo cuando se comprueba experimentalmente a través del método científico, y tal vez la mayor evidencia de su veracidad, sobre todo para el común de la gente, se tenga al ser testigos directos de sus exitosos resultados cuando se aplican a la tecnología. Por ejemplo, si no fueran válidas las teorías de: "Mecánica de Newton", no podría haber satélites artificiales ni automóviles; "Electromagnetismo de Maxwell", no tendríamos radio ni televisión ni computadoras; "Física del Estado Sólido", no existiría la electrónica; "Mecánica de Fluidos", no volarían los aviones; "Leyes Quími-

cas", no tendríamos la variedad de productos medicinales, cosméticos, industriales, etc., bueno y habría un sinnúmero de ejemplos. Debe quedar bien claro que cuando surge una nueva teoría no descalifica a la anterior sino que la perfecciona, la amplía, la contiene, la hace más precisa, la eleva a un nivel superior. Es como si porque desarrollamos la televisión afirmemos que la radiocomunicación fue equivocada. Las teorías de la Relatividad, Mecánica Cuántica y del Caos lo que están haciendo no es invalidar la de Newton sino ampliarla, perfeccionarla. Lo mismo sucede con la nueva "Termodinámica del No Equilibrio" que no destrona a la del Equilibrio, sino que la contiene. Y así escalón tras escalón se va construyendo el gran edificio de la ciencia, es decir, del conocimiento.

Cel – ¿Podría aclarar un poco más qué es una teoría científica?

Cuando en las ciencias exactas hablamos de "teorías" nos estamos refiriendo a *teorías establecidas*, es decir, teorías confirmadas por resultados experimentales contundentes, como por ejemplo con la Mecánica de Newton. No debemos confundirnos con teoría en el sentido general de algo especulativo, de algo que puede ser posible, esto sería mas bien una hipótesis, por ejemplo, cuando se postuló la existencia del "éter" como medio donde se propagaban las ondas electromagnéticas fue una hipótesis que nunca pudo confirmarse experimentalmente. Lo mismo podemos decir de la química anterior a Lavoiser donde se suponía que la materia ardía porque contenía una sustancia denominada "flogisto", pero esta no era una teoría establecida, sino una hipótesis, que fue descartada cuando experimentalmente se entendió que no había flogisto, sino que existe el gas oxígeno, el cual desempeña el papel de la combustión. Estos casos no fueron fracasos de la ciencia, por la sencilla razón que eran simplemente hipótesis no confirmadas. Thomas Kuhn se equivoca cuando habla de abandonos de viejas teorías de la ciencia en favor de nuevas, justamente porque considera como teorías o paradigmas a aquellas que nunca tuvieron una confirmación experimental contundente, simplemente fueron hipótesis especulativas. Las ideas siempre pueden volar de un lado a otro, pero no los resultados.

Cel – ¿Podría darme ejemplos actuales de teorías aún no establecidas?

La del Big Bang y la de la Evolución de Darwin. Aunque en la primera se está yendo en ese camino (ya que hay importantes resultados experimentales que son compatibles con ese acontecimiento, por ejemplo la existencia de radiación de fondo del Universo y aún más, recientemente se descubrió que esta radiación es polarizada, hecho necesario para explicar la formación de las semillas primordiales que dieron origen a las galaxias), todavía falta mucho por comprobar (Teoría de Cuerdas, Teoría M, Materia y Energía Oscura, etc.). En cuanto a la segunda la cosa se presenta mucho más complicada, no es que haya duda sobre la evolución en el sentido de los cambios o modificaciones observados a través del tiempo, a nadie le cabe ninguna duda que las cosas cambian o se desarrollan con el tiempo, yo no soy el mismo de cuando tenía 20 años ni nuestro bendito planeta lo es respecto a como era hace 700 millones de años atrás, en donde hay mucho por hacer y mucho sin confirmar experimentalmente es en cómo la naturaleza lleva a cabo, por sí misma, esos cambios o modificaciones en los sistemas biológicos y en cómo los transforma en características heredables (evolución genética, o descendencia con modificación), por ejemplo, inicialmente la explicación de las líneas progresivas de la evolución biológica se basaban en la competencia, pero hoy hay quienes creen haber demostrado que es mucho más importante la colaboración que la competencia, así mismo hay serias dudas sobre ese propio enfoque progresivo o gradual de la evolución de las especies (consecuencia directa de la “selección natural” de Darwin) ya que el registro fósil indica lo contrario (revela mas bien una evolución puntuada o escalonada del proceso de especiación con grandes intervalos de tiempos donde prácticamente no se observa cambios y a lo que se suma el serio problema de no poder encontrar los intermediarios entre una y otra especie que se dicen emparentadas). En la década de los noventa han aparecido propuestas que basan la generación de orden biológico a partir de “reglas estructurales funcionales” y no por “selección natural”. Otra discusión es si es el azar (relativo) quién crea o es la gran diversidad de

posibilidades. También es muy dificultoso poder justificar (siempre en base a la “selección natural” de Darwin) lo pródiga que es la naturaleza en diversidad pero paradójicamente lo sumamente ahorrativa en modelos estructurales básicos y, por otra parte, lo que se conoce como “evolución paralela” (gran cantidad de organismos que presentan formas o adaptaciones semejantes, pero que se clasifican en taxones diferentes), lo que conlleva a aceptar que deben producirse mutaciones idénticas (paralelas) que ocurran tantas veces en grupos tan desiguales, lo que a su vez implica que deben darse en genes distintos y además que en todos ellos sean viables. Otro hueso duro de roer es lo que se conoce como Explosión Cámbrica (solo se encuentran microorganismos petrificados en rocas anteriores al Cámbrico y luego, de golpe y en corto plazo, desde el principio y hasta la mitad del Cámbrico, se observa que se produce una explosión de vida superior y asombrosamente variada aparición de numerosos filum, más de 50. Actualmente son unos 38. Stephen J. Gould llamó a esto el cono invertido de la diversidad), donde surgen muchos de los diseños estructurales anatómicos y funcionales de vida que conocemos hoy, el propio Darwin se preguntaba “*por qué estos primeros animales eran ya anatómicamente complejos y sin precursores aparentes*”. Y hay muchas dudas más que sería largo de enumerar ahora. Podemos resumir diciendo que hay muchas hipótesis sobre el origen de la vida, pero ninguna de ellas está apoyada por evidencias suficientemente claras para imponerse. Así el mecanismo de la evolución sigue siendo objeto de apasionante controversia.

Cel - ¿Es lo mismo teoría que paradigma?

En realidad se debe considerar como paradigma a un modelo dominante que, en base a resultados científicos contundentes, sabemos se cumple. En este caso “paradigma” es sinónimo de “teoría científica establecida”, y vale para él todo lo dicho antes. Ahora bien, sucede que también se suele dar esa denominación a un “modelo o idea de interpretación global que nos hacemos del mundo (cosmovisión)”, y en este caso tal modelo no tiene porque cumplirse ya que nos vamos más allá del método científico. Esa idea solo esta basada en espe-

culaciones o extrapolaciones filosóficas o metafísicas de los conocimientos a que hayamos llegado hasta ese momento, y de esto los físicos no nos hacemos cargo. Una tal especulación sí puede ser destronada ya que carece de una base científica que la confirme, en consecuencia puede o no ser verdadera, como fue el caso de extrapolar lo que se sabía de la mecánica de Newton y llevarnos a pensar en un mundo que funcionaba como el mejor reloj.

Cel - Veo que usted se preocupa por las malas interpretaciones que se hacen de los avances científico. ¿Hay alguna otra que usted desee aclarar referida al tema que nos ocupa?

Sí, la de querer culpar a la Teoría del Caos, de la Relatividad y Mecánica Cuántica de ser responsables que no se cumpla la promesa del modernismo sobre lograr el ideal de un mundo mejor, ordenado y previsible, que podría obtenerse gracias al desarrollo científico y, en consecuencia, se quiera justificar que es natural o lógica toda decadencia social y cultural que se pueda observar en nuestros días, porque ahora “sabemos que en la naturaleza reina el caos”. Pensar así es un muy grave error. Por un lado porque como hemos visto caos en física tiene un significado muy diferente al que se entiende socialmente y segundo porque si deseamos una sociedad donde cada día aumente el orden, la calidad de vida, la seguridad y la estabilidad, depende mas bien de que cada ser humano asuma su responsabilidad en el lugar que ocupa en la comunidad. De nuestra inteligencia depende elegir un mundo ordenado o un mundo anárquico, un mundo librado al azar de la ignorancia o a la certeza del conocimiento. Si bien sabemos que el destino de la civilización está atado a los progresos científicos-tecnológicos no es menos cierto que también dependerá de los códigos éticos y morales que se proponga.

Cel - ¿Quiere usted decir que una cosa es el conocimiento científico y otra lo que se haga con él?

Exactamente. La ciencia básica solo va revelando como son las cosas en la naturaleza. El espíritu del hombre es el que debe hacerse cargo con que fines usa los conocimientos.

El científico no busca la verdad absoluta o garantizar un mundo mejor, lo

que busca, humildemente, es cada día saber más sobre algo, entender un fenómeno, satisfacer su curiosidad, sus dudas, sin tener en cuenta como ese conocimiento puede ser utilizado en el futuro, que tal vez ni él mismo lo puede prever. Por ejemplo Alexander Fleming, a principio del siglo pasado, estudiaba el comportamiento de ciertas bacterias y sin proponérselo descubrió el primer antibiótico, la penicilina. Lo que se hace con un conocimiento es responsabilidad de toda la humanidad, puede aprovecharse para mejorar la calidad de vida como para destruirla o empeorarla, un conocimiento no es en si mismo bueno o malo, el uso que le demos será bueno o malo. No nos olvidemos que el agua sirve tanto para dar vida como para ahogar a una persona, lo mismo podemos decir de la energía atómica, la electricidad, o de una droga.

Cel - Contestó sobre el papel que juega la ciencia básica, pero recuerdo que dividió la respuesta en dos partes, faltaría contestar sobre la influencia de las aplicaciones tecnológicas debidas a los avances científicos.

A nadie escapa que los descubrimientos de la ciencia básica son la materia prima de las posteriores aplicaciones tecnológicas. Ejemplos concretos de manifestaciones debidas a los avances tecnológicos, que dieron lugar a que se produzca el fenómeno llamado posmodernismo son: El notable desarrollo de las fuerzas productivas, a través de las máquinas, la automatización, la cibernética y la informática. La globalización de la sociedad, de la economía, de la cultura, etc., debida al extraordinario avance de las comunicaciones y los medios de transporte. La gran variedad en los artículos que hoy se fabrican, ya no hay unos pocos modelos de autos o heladeras repetidos por gran cantidad de tiempo sino una gran diversidad, además estos artículos o sus modelos van cambiando continuamente y con rapidez pues el avance tecnológico los hace quedar rápidamente obsoletos. Se genera así una sociedad de consumo que cambia en forma muy seguida sus pertenencias. Colabora también, a la formación de esta sociedad, el abaratamiento de los artículos y la calidad e intensidad de la propaganda publicitaria, aparece de esta manera la llamada cultura de consumo. No solo se intensifica la produc-

ción de artículos sino también la prestación de servicios: telefonía, electricidad, gas, publicidad, internet, medicina, etc. Se produce una verdadera revolución en la calidad de la mano de obra, la industria automatizada necesita menos personal pero mucho más capacitado, el conocimiento es la fuerza de producción fundamental. No solo la forma de producción se ha revolucionado sino también la forma de comercialización a través de: grandes supermercados y shopping, por teléfono, televisión, internet, correo electrónico, etc.

En lo social todos estos cambios están dando lugar a que la brecha generacional sea muy corta o inexistente; que la educación escolar resulte muy difícil debido a que los rápidos cambios producen serios problemas de capacitación y adaptación tanto por parte de autoridades como de docentes, alumnos y hasta de los propios padres de los alumnos; que se rompan los límites de la libertad para dar lugar a un libertinaje, parece reinar el todo vale (cada cual se construye su propia moral y vive como se le da las ganas sin pensar en el prójimo, ni siquiera en su propia familia); que en muchas partes se amplíe la brecha entre gente pudiente y no pudiente; que en el nuevo mercado de trabajo se produzca desempleo para el personal no capacitado; que se viva el presente con indiferencia del futuro; que exista una excesiva y peligrosa permisividad, parecería no haber límites; que se produzca una no menos peligrosa relativización de todo; que seamos cada vez más materialistas e individualistas en desmedro de los sentimientos y de los mejores ideales.

Cel - ¿Es todo eso responsabilidad de los científicos?

El reto más grande de la ciencia es saber cómo utilizarla. La decisión de cómo aplicar tecnológicamente un conocimiento y volcarlo al consumo masivo, como ya lo expresé, escapa al científico básico y pasa a ser responsabilidad de todos, ya que involucra a amplios sectores de la sociedad, como ser el que dicta y el que debe hacer cumplir las leyes (legisladores y jueces), el que toma las decisiones políticas (gobernantes), el que produce y el que comercializa (industriales y hombres de

negocios) y aún más, el de la propia sociedad de consumo.

De esta manera nos encontramos con una paradoja, en el posmodernismo, donde la ciencia nos muestra sus progresos más espectaculares, que de ser bien utilizados nos permitirían mejorar significativamente el nivel y la calidad de vida, es la propia sociedad quien se la autonega, desaprovechando esta oportunidad. Por decirlo de alguna manera, pienso que la sociedad debería revisar su compromiso con la ciencia, es decir, con el conocimiento.

Cel - ¿Se animaría a aventurar que vendrá después del posmodernismo?

Estamos en la era de la revolución informática, de la biotecnología y de la incipiente nanotecnología. Es probable que la próxima gran revolución sea el advenimiento de lo que se ha dado en llamar *vida poshumana* o *suprahumana*. Me refiero a la creación por parte de la tecnología, siempre en base al conocimiento científico básico, de entidades *más inteligentes que lo humano*.

Considero que aquí el ser humano influirá más que nunca sobre los mecanismos evolutivos que se dan naturalmente, dándole una aceleración inaudita que ni la propia naturaleza por si sola y por más tiempo que se le diera podría lograr. Este ente alterará en forma más violenta que nunca la planicie de la historia humana, ya bastante alterada a partir del modernismo, sobre todo en el siglo XX.

Cel - ¿Podría aclararme un poco más que es esto de la vida poshumana?

Existen distintos caminos que conducirían, en un futuro no tan lejano, a la emergencia de la *superinteligencia* (más que humana). Hay fundamentalmente cuatro hipótesis al respecto: 1. Computadoras dotadas de una inteligencia más que humana. 2. Amplias redes de supercomputadoras y usuarios cuyo efecto será equivalente al de una inteligencia colectiva superior a la humana (ya estamos dando los primeros pasitos con Internet). 3. La interfaz entre la computadora y los seres humanos se volverá tan íntima, simbiosis máquina-hombre, que los usuarios podremos considerarnos superinteligentes. 4. La neurobioingeniería junto con la ingeniería genética proveerá los

medios para aumentar exponencialmente la inteligencia humana.

Mi opinión es que se van a dar las cuatro paralelamente y entremezclándose, apoyándose una en la otra, tanto en su desarrollo como en su aplicación.

Cel - ¿Cuáles serán las posibles consecuencias de un tal mega-evento?

Bueno lo primero que uno avizora es una avalancha de cambios en un proceso de escalada infernal de muy difícil adaptación para el hombre común. Este es un aspecto que deberá tenerse en cuenta, es decir, la preparación de la humanidad para adaptarse y saber manejar prudente y sabiamente los eventos de esta nueva vida, incluso es algo que ya debería hacerse, nos ahorraríamos muchos futuros dolores de cabeza sociales. Es decir, urge que el hombre evolucione espiritualmente y socialmente de acuerdo a los nuevos cambios, o se adapta satisfactoriamente o sucumbe, y esto es así sin vuelta de hoja, pues a diferencia de la evolución biológica que requirió del tiempo real para ejecutar sus simulaciones, nuestra capacidad para realizar experimentos mentales y reales acelera en forma exponencial los juegos de ensayo y error de la naturaleza y, en consecuencia, tenemos la capacidad de hacer que ocurra en un siglo lo que de forma natural hubiese necesitado millones de años, además de aquellas que no hubiesen sucedido nunca de no mediar la inteligencia humana.

Un día no tan lejano cruzaremos una *compuerta evolutiva* que dividirá a la historia en dos. Antes y después de ese momento. Tal vez se hable de antes y después de la *superinteligencia* o del *gran salto* y, por qué no, de que ha comenzado la era *poshumana*. Todo será distinto, de un modo quizás nunca visto en la historia evolutiva, salvo cuando aparecieron los primeros seres vivientes, con la salvedad que éstos no eran conscientes de pertenecer a un gran salto y ahora sí.

Tal vez cuando aparezca la primera máquina superinteligente sea el último de los inventos puramente humano. A partir de allí se producirá una simbiosis máquina-hombre que será la responsable (responsabilidad compartida) de los próximos descubrimientos e inventos.

Cel - ¿Piensa que realmente se llegará a construir máquinas inteligentes, má-

quinas que piensen como lo hace el ser humano?

En los congresos sobre inteligencia artificial si bien los científicos (más calificados en el tema) discrepan acerca de cuán cerca estamos de asistir a tal evento, en ningún momento han dudado de su posibilidad. Algunos aventuran que estamos entre 20 y 40 años de alcanzar la emulación del cerebro, al menos en cuanto a sus aspectos más básicos. Dice Hans Moravec (prestigioso investigador experto en robótica): *"En la actualidad, nuestras máquinas son todavía creaciones simples que precisan los cuidados maternos y la atención constante de todos los recién nacidos, y no se puede decir que merezcan el calificativo de <inteligentes>, pero en el curso de este siglo madurarán, se convertirán en seres tan complejos como nosotros y, finalmente, en entes que trascenderán todo lo que conocemos"*.

Pero yo insisto, no creo en una competencia máquina-hombre sino mas bien en una simbiosis, que con el tiempo se irá diluyendo para dar lugar a un ente totalmente nuevo y único. Por ejemplo, éste nuevo ente podrá heredar del hombre su creatividad, sus sentimientos, su espiritualidad y, de la máquina su memoria, su velocidad de procesamiento, su rápido acceso a la información, entre otras cosas de ambos.

Cel - ¿Me puede dar un ejemplo de cómo podría hacerse en forma concreta tal simbiosis?

Hoy si queremos sacar la raíz cuadrada de un cierto número tomamos una calculadora de mano tecleamos en ella con nuestros dedos y obtenemos el resultado en el visor. Lo mismo si quisiéramos el logaritmo. Si necesitamos el número telefónico de una empresa lo buscamos en la guía telefónica o en nuestra agenda electrónica. Esto lo hacemos así porque nos es imposible tener almacenados todos esos datos en nuestro cerebro y poder consultárselo directamente. En el futuro, mediante una operación quirúrgica, se nos adicionará un cerebro artificial (un chip en la jerga electrónica), y no necesitaremos utilizar nuestros dedos, directamente pensaremos el dato que necesitamos y nuestros impulsos nerviosos consultaran al chip y este nos dará el dato requerido enviándolo directamente a nuestro cerebro. Es claro que para

que esto suceda todavía tenemos que avanzar bastante en biotecnología, ya que se requerirá una interfase que sepa leer y decodificar los impulsos nerviosos y luego transformarlos en impulsos eléctricos y viceversa. Pero no es imposible, es cuestión de tiempo. Antes aparecerán otras cosas también espectaculares, no habrá mas gente obesa ni diabética, los ciegos podrán ver, los sordos escuchar y los paralíticos caminar, se curaran patologías genéticas y se aumentará la capacidad del cerebro, los bebés ya no nacerán del vientre de una mujer (sino de un equipo que lo emulará), desaparecerá la homosexualidad de origen fisiológico, etc. Esto es solo para dar una idea.

Cada vez que mejoramos nuestra capacidad de almacenar, acceder, sistematizar, procesar o reelaborar la información, estamos produciendo ventajas comparativas por encima de la inteligencia natural, al punto tal que hoy mismo una combinatoria de un ser humano y una computadora es probablemente capaz de pasar exitosamente cualquier test de inteligencia o de ganarle a cualquiera una partida de ajedrez.

Pero como dije antes, para mí es más probable que la inteligencia suprahumana emerja de una hibridación de la humana con la de las máquinas, que solamente de las de máquinas (supracomputadoras).

Cel - ¿Pero no está en nuestras manos tallar a medida a los nuevos entes suprahumanos cosa que no nos superen y, de esta manera, evitar el exterminio de la humanidad?

Una inteligencia, de cualquier tipo que sea, para mantenerse como tal necesita crear, crecer, evolucionar y con ello aumentar los riesgos de inconmensurabilidad con quienes la diseñaron. Uno siempre desea que un hijo lo supere. Es el precio de la evolución que no quiere parar.

Cel - ¿Y las consecuencias psicológicas y sociales?

Serán enormes. Lamentablemente desde el punto de vista psicológico y social venimos improvisando respuestas para hacerle frente a los grandes avances científicos que paradójicamente nos enorgullece y nos atemoriza. Esta nueva era diferirá de la nuestra en una forma casi imposible de imaginar, y lo que es peor, si no tenemos un espe-

cial cuidado, nuestros propios criterios de distinción en terrenos como la ética y la moral se licuarán, y conste que en todo lo que hemos hablado no hemos incluido el efecto que producirá el advenimiento de lo que será el mundo de la *realidad virtual, la nanotecnología, la clonación y las células madre*. En fin, todo cabe en ese enorme agujero negro de lo poshumano.

Cel - ¿Desea agregar algo más?

Sí, insistir en la validez de la ciencia tanto para llegar al conocimiento del mundo como por sus aplicaciones tecnológicas pero, para evitar que se vuelva un bumerang contra nosotros y en cambio nos conduzca a un verdadero progreso de la humanidad, debe estar despojada de endiosamiento y controlada por reales valores espirituales, cosa esta última que estamos dejando muy de lado.

Deseo recalcar lo de *valores espirituales* porque me preocupa seriamente que cada vez haya más estudiosos, de la sociedad actual, que coinciden en que en esta nueva cultura posmoderna, y podríamos decir también posmoralista, se acentúa el individualismo (hasta el nivel del egoísmo, el otro no importa), la permisividad excesiva, la falta de valores morales y éticos e incluso estéticos que abarcan todos los niveles; como así también que se pierden las tradiciones, la familia, la autoridad, la disciplina, el orden y el valor del futuro. Aseguran notar una visible inclinación a vivir el presente, a solo luchar por las necesidades del momento (el mañana no importa). La moral y la ética no existen y mucho menos el ideal, cualquiera que éste sea. No hay principios ni dignidad. El hombre posmodernista trata de satisfacer todas sus necesidades sin tener en cuenta las consecuencias (dinero, sexo, drogas, status, poder, etc.). Solo persigue su propia satisfacción. Disminuye significativamente el valor de la familia, lo que da lugar a una gran indiferencia en las relaciones entre esposos, hijos, hermanos y padres. Resumiendo podemos decir que la sociedad posmoderna desvaloriza al ser humano. Corregir estos males del posmodernismo no es tarea de los hombres de ciencia, sino del conjunto de la humanidad. Con esto intento hacer un llamado a la razón para que todos juntos, con una adecuada educación y afirmados principios éticos y morales, logremos un futuro que valga la pena vivirse con alegría.

Cel – Discúlpeme, pero dado que hemos tocado temas tan trascendentes no puedo dejar de hacerle una pregunta más, que se a muchos científicos no les gusta o prefieren no hablar. ¿Qué piensa acerca de Dios?

Por el contrario, me interesa mucho que me la haga. Primero quiero aclarar que los físicos somos muy concientes en que no pretendemos encontrar o conocer la “verdad absoluta”, es decir, la ciencia no garantiza una respuesta absoluta a todo. La ciencia no es Dios. Lo único que ofrece es un sistema para obtener respuestas útiles una vez que se tiene suficiente información. Es decir, no nos preguntamos cual es la “verdad” sino “qué es lo útil”. Ahora con respecto a su pregunta, observe, nosotros tenemos dos piernas para caminar, izquierda y derecha. Considero que la fe y la ciencia son las dos piernas que hacen caminar a la humanidad y necesitamos que las dos sean igual de fuerte para no renegar. La fe es un hecho innegable, todos la ejercemos. Sin fe no hacemos nada, seríamos vidas inútiles. Estudiamos porque tenemos fe en recibirnos, nos casamos porque tenemos fe en formar un hogar digno, iniciamos un proyecto con fe en que resulte, etc. *Nuestra fuerza de lucha diaria nace de la fe en que vamos a lograr una vida cada día mejor*. Si lo que usted quiere es que le conteste, como físico, si Dios realmente existe, le puedo decir lo siguiente. Ningún científico, del área de las ciencias exactas y que se considere serio, puede contestar con real certeza en un sentido u otro. Si alguno afirma que Dios no existe, que me lo demuestre mediante el método científico y lo mismo si dice que existe. Al menos hasta ahora nadie lo pudo hacer. Creer o no creer en Dios es un acto de fe. Fe que proviene de la experiencia individual de cada uno. El creyente tiene fe en que Dios existe y el ateo tiene fe en que no. Tampoco debemos pecar de soberbios y pensar que si algo no se puede probar científicamente no es verdadero, me pregunto: ¿se lo podrá medir a Dios?, y si lo pudiéramos hacer ¿no seríamos más que Dios?

Pero permítame especular un poco. No debemos creer que ya hayamos descubierto casi todo sobre las leyes que gobiernan nuestro bendito Universo, justamente eso se pensó con la mecánica de Newton, es decir, no había

más que aprender, la física había llegado a su fin, y luego vino todo lo que ya hemos conversado, incluso considero que la física cuántica y de la relatividad no han dicho todavía todo lo que tienen que decir, más aún con respecto a las interpretaciones que se dan de sus resultados. Cuando uno cree que se agota un tema, una teoría, siempre aparecen nuevos interrogantes. Por otra parte también me pregunto: ¿qué nos da derecho a afirmar que el Universo solo es lo que captamos a través de nuestros sentidos y de nuestra forma de pensar (la forma en que procesa un cerebro humano)?, ¿qué será el Universo para las plantas o los animales? A veces cuando salgo al fondo de mi casa suelo decir “pobres hormigas, creen que el Universo es el jardín de mi casa». Ya que estamos hablando de Dios aprovecho para hacer una observación a quienes creen en el azar puro y sin embargo no creen en milagros, de acontecer el azar puro sería un hecho sobrenatural, hecho que no puede tener una explicación fundada, ocurrió porque ocurrió, no hay historia previa que llevara a que ese acontecimiento se produjera. Es como aceptar que Dios de vez en cuando interviniera produciendo un fenómeno en la naturaleza sin correlación con nada anterior, sin causa. Evidentemente, de ser esto así, deberíamos considerar, el azar puro, equivalente a un milagro.

Es útil recordar que las principales cualidades de un buen científico son: la curiosidad, la duda, el deseo de saber y entender, pero por sobre todo tener el suficiente criterio para no cerrarse, es decir, debe mostrarse abierto al análisis de toda idea que llegue a sus oídos, bien dicen que mantener la mente abierta es una de las señales de inteligencia. También habría que agregar como cualidad lo dicho por Max Planck “*Tener fe. La fe es un atributo esencial del científico*”. Vale además recordar lo dicho por Domingo F. Sarmiento “*solo hay ciencia donde existe discusión*”.

Para terminar con su última pregunta permítame una reflexión, ¿qué podríamos decir los físicos si aconteciera que la esencia de Dios esta más allá del mundo físico, y aún más, fuera del tiempo?

Vientos estelares

Palabras claves: estrellas-masivas, vientos-estelares, emisión
Key words: massive stars, stellar winds, emission processes

La mayoría de las estrellas experimenta una pérdida de material durante gran parte de su vida en forma de vientos estelares. Las estrellas más calientes y masivas llegan a perder del orden de la mitad de su masa en este proceso. Los vientos estelares enriquecen químicamente el medio circundante, entregando energía y cantidad de movimiento. Las distintas manifestaciones del fenómeno pueden detectarse en todos los rangos de energía. ¿Cuáles y cómo son las estrellas con vientos más poderosos? ¿Con qué instrumentos pueden estudiarse? ¿Qué información se puede extraer de las observaciones? ¿Cómo se complementan los resultados para completar un cuadro general de los procesos físicos que ocurren en las estrellas más masivas? Este artículo trata de vislumbrar algunas de las respuestas.

■ Por Paula Benaglia

Grupo de Astrofísica Relativista y Radioastronomía (GARRA)
Instituto Argentino de Radioastronomía y Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, UNLP
pbenaglia@fcaglp.unlp.edu.ar

■ GENERALIDADES

Puede decirse que una estrella es una bola de gas autogravitante. Durante la mayor parte de su vida, se mantiene en equilibrio básicamente a través de dos fuerzas radiales de intensidad parecida que actúan con sentidos contrarios: la fuerza de la gravedad, que empuja el gas estelar hacia adentro, y la fuerza ejercida por la presión de radiación, hacia fuera, causada por reacciones nucleares en el interior estelar.

Una estrella, en una aproximación razonable, se comporta como un cuerpo negro: un radiador ideal, cuya superficie absorbe toda la radiación que le llega. La absorción de energía aumenta la temperatura del cuerpo. Para mantener el equilibrio, éste debe emitir tanta

energía como recibió, y así brilla. Dependiendo de cuánta energía recibe, el máximo de radiación se producirá para ondas caracterizadas por una cierta longitud de onda (λ), o frecuencia (ν)⁽¹⁾.

La representación de la intensidad de la radiación en función de λ (o ν) se denomina espectro electromagnético. Este espectro, esquematizado en la Figura 1, cubre longitudes de ondas desde 10^{-8} cm hasta 10^2 cm y se subdivide en rangos. Las ondas menos energéticas (con mayor longitud de onda) son las de radio. Luego le siguen las microondas, ondas infrarrojas (IR), ópticas (luz visible), ultravioletas (UV), rayos X y rayos gamma.

Para las energías involucradas en las estrellas, las frecuencias máximas de radiación caen en el rango óptico o visible del espectro electromagnético, el único sensible al ojo humano. De ahí que al mirarlas las estrellas aparezcan enrojecidas, anaranjadas, blancas, azuladas.

La espectroscopía constituye una herramienta fundamental en el estudio de las estrellas, pues permite determinar cómo se comporta la radiación que recibimos, en función de la energía (o frecuencia) en observación. Cuando

⁽¹⁾ Longitud de onda: distancia entre dos crestas. Frecuencia: cantidad de ondas por unidad de tiempo. A su vez, la frecuencia es directamente proporcional a la energía de la onda electromagnética.

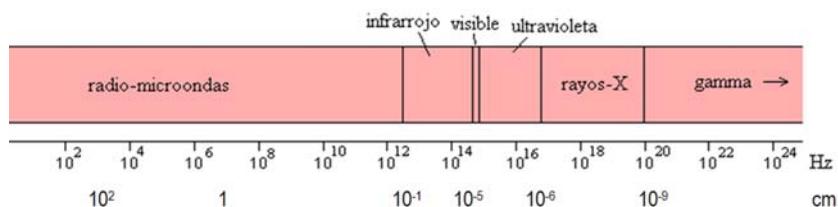


Figura 1: Distintas regiones del espectro electromagnético, en función de la frecuencia (expresada en Hertz o Hz = 1/s), y de la longitud de onda de la radiación (expresada en cm).

por ejemplo en un gas, los electrones que forman parte de un átomo pierden energía, emiten radiación electromagnética a longitudes de onda fijas. Al tomar un espectro de esa radiación, aparecerá lo que se llama una línea espectral. Estas líneas pueden considerarse entonces impresiones digitales de un elemento químico, o de un estado de un elemento químico. Miles de espectros ópticos estelares fueron tomados durante el siglo XIX. Hacia 1890 se desarrolló en el Harvard College Observatory la base del sistema de clasificación estelar que usamos hoy: se asignaron letras a los espectros, de acuerdo con la intensidad decreciente de las líneas de hidrógeno, de la A a la O. Al considerar más y más espectros, pronto quedó en evidencia que algunas letras eran innecesarias o incorrectas en la secuencia, y que la gradación entre intensidades obligaba a colocar las O antes que las B, y luego las A. La

secuencia de clase espectral quedó fijada de la forma: OBAFGKM; representa un orden en la temperatura superficial de las estrellas: desde unos 50.000 K hasta unos pocos miles de K⁽²⁾. Ante las diferencias encontradas entre las estrellas de un dado tipo, se decidió subdividir a su vez cada tipo en 10 partes: de 0 a 9. Por ejemplo, el sol es una estrella G2. Ahora sabemos que los diferentes espectros son producidos por átomos que emiten o absorben radiación, que se hallan en distintos estados de ionización y de excitación electrónica.

Hace unos 2000 años, el astrónomo griego Hiparco dividió los brillos estelares en grupos llamados magnitudes, desde las más luminosas (magnitud 1) hasta las más débiles, difíciles de detectar a ojo desnudo (magnitud 6). Astrónomos del s. XIX descubrieron que la escala anterior era logarítmica imitando la respuesta del ojo, y la cuantificaron. En la escala actual, el sol mide

unas -27 magnitudes. Las magnitudes de las estrellas medidas desde la tierra se denominan magnitudes aparentes (*m*), y dependen fundamentalmente de la distancia a la estrella. Para quitar este efecto, y relacionar a *m* con la energía que libera la estrella, se define la magnitud absoluta, como la magnitud de la estrella si estuviera a una distancia fija de nosotros ($\sim 3 \times 10^{19}$ cm). Según el rango del espectro en el que se miden, las denominamos magnitudes visuales *V* ($\sim 5500 \text{ \AA}$ ⁽³⁾, donde el ojo humano es más sensible), azules *B* ($\sim 4500 \text{ \AA}$, donde las placas fotográficas eran más sensibles), etc.

Una de las unidades de distancia más usada por los astrónomos es el parsec. Supongamos determinar la posición de un astro en el cielo para una dada fecha, y para seis meses más tarde, es decir, cuando la tierra ha recorrido la mitad de su órbita. El astro se habrá movido, con respecto a un fondo estacionario de estrellas mucho más distantes. Como se muestra en la Figura 2, la medida del ángulo *p* (o paralaje) permite calcular la distancia *d* al astro. Se define como 1 parsec a la distancia a que se encuentra un objeto cuyo ángulo *p* vale 1 segundo de arco (1"). Haciendo cuentas, 1 pc es igual a 3.086×10^{18} cm.

Entre las estrellas cercanas más brillantes, visibles desde el hemisferio sur, se encuentran Alfa Centauro (*m* = -0.1, *d* = 1.3 pc), y Sirio (*m* = -1.4, *d* = 2.6 pc). Sólo unas pocas estrellas tienen nombres específicos como las anteriores. A la mayoría se las designa con un número de catálogo. El más importante agrupa cientos de miles (Henry Draper Catalogue), y sus componentes se identifican con las letras HD seguidas por un número correlativo con sus coordenadas celestes. Si la estrella está en un sistema binario o múltiple, se le agregan letras por orden alfabético.

Cuando graficaron por primera vez la magnitud *V* contra la clase espectral, el danés E. Hertzsprung y, en forma independiente el norteamericano H. N. Russell, se dieron cuenta de que había al menos dos poblaciones de objetos: un grupo de estrellas en una franja oblicua, con magnitudes visuales decrecientes (y luminosidad⁽⁴⁾ creciente) a

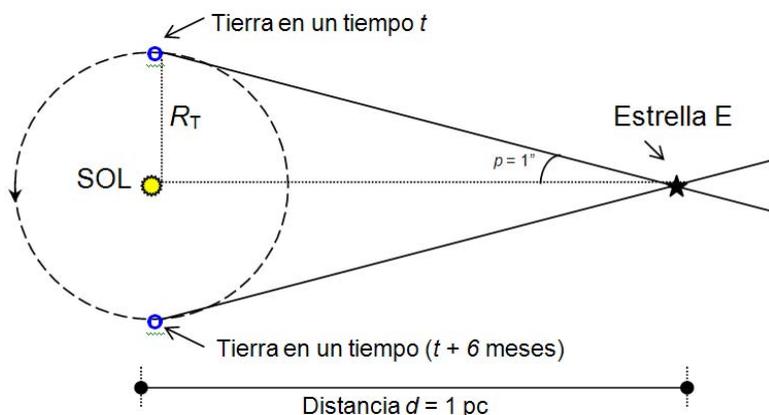


Figura 2: La circunferencia grande de trazos representa aproximadamente la órbita terrestre, de radio R_T . Los círculos pequeños marcan la posición de la Tierra en un tiempo *t*, y $(t + 6 \text{ meses})$ = duración del recorrido de media órbita. El círculo estrellado central es el Sol. La estrella negra **E** es el objeto al que se mide la distancia, proyectada sobre un fondo estacionario como muestran las estrellas grises de la derecha. Cuando el ángulo *p*, formado por el triángulo de base *d* y altura R_T , vale 1 segundo de arco (1"), la distancia *d* a la estrella es de 1 parsec (1 pc).

⁽²⁾ K: grados Kelvin ($0^\circ \text{ C} = 273 \text{ K}$)

⁽³⁾ $1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm}$.

mayor temperatura. El otro indicaba magnitudes crecientes con temperaturas crecientes. En la Figura 3 se representa el diagrama de Hertzsprung y Russell, o diagrama H-R. A las estrellas pertenecientes al primer grupo las llamaron enanas - como el sol -, y a las del segundo, gigantes. La única forma en que esto suceda, es que las estrellas se vuelvan más grandes cuando su temperatura disminuya. Habían encontrado una secuencia evolutiva, designada Clase de Luminosidad. Esta secuencia más tarde se extendió desde tipos V (enanas) hasta I (supergigantes). En pocas palabras, las estrellas enanas están quemando hidrógeno (H) en helio (He) en su interior. (En este proceso 4 átomos de H se fusionan en 1 de He, liberando energía. Es el mismo que se utiliza en las bombas de hidrógeno. Se producirá cuando el H se halle a una presión extraordinaria: la que existe en los interiores estelares. En el caso de las bombas H, la presión se logra primero mediante el proceso de fisión de átomos

de uranio.) Se dice que las enanas están atravesando la etapa de secuencia principal. Las supergigantes tienen un núcleo de He, y capas de H en combustión. A las estrellas más calientes y luminosas se las denomina "tempranas", y a las de características opuestas, "tardías". La estrella más temprana catalogada en nuestra galaxia es HD 93129Aa, una O2 I.

A partir del momento en que se forman las estrellas, éstas lo hacen con una masa inicial que depende del material de la nube interestelar dentro de la que se forman. Las estrellas de unas pocas masas solares, en su etapa final, dejan de convertir H en He y se enfrían como enanas blancas. Las estrellas de unas 8 masas solares⁽⁵⁾ o más, una vez que todo el H del núcleo se convierte en He, sufren una serie de reacciones nucleares sucesivas, produciendo los elementos C, O, Ne, Na, Mg, Si, S, Cr, Ni, etc., y finalmente Fe, el núcleo atómico ligado más apretadamente. Ya no se ganará más energía a partir de la fusión de Fe, así que allí terminan las re-

acciones. La fuerza de gravedad no puede ser frenada con ninguna otra, y las capas medias e internas comienzan a caer sobre el núcleo o core (las externas no se enteran de lo que pasa). Esta implosión crea una onda de choque hacia fuera, como resultado de la cual las capas externas son expelidas brutalmente hacia el medio interestelar (MIE): la así llamada explosión de una supernova puede igualar en segundos el brillo de una galaxia entera, y la energía liberada es unas 100 veces mayor a la que el sol irradió en toda su vida. En el core, la contracción sigue hasta que la materia se degenera en neutrones (estrella de neutrones) o en un agujero negro, en el caso de las más masivas. Las estrellas de neutrones que rotan rápidamente pueden ser vistas como los llamados pulsares, si el eje de rotación apunta en algún momento hacia el observador.

Se sabe que más de la mitad de las estrellas se forman en sistemas binarios o múltiples. Las masas estelares varían entre ~0.1 y varias decenas de masas solares. Modelos de evolución estelar predicen la existencia de estrellas de unas cien masas solares, si bien la medida directa de la masa estelar es muy difícil de concretar. En los últimos años ha podido demostrarse que dos de las más masivas estrellas galácticas, cuyas masas habían sido estimadas en más de 100 masas solares (HD 93308 o Eta Carina, y HD 93129A), son en realidad cada una, al menos, un sistema binario, y la gran masa estimada se reparte entre las dos compañeras.

Conteos estelares en los alrededores del sol revelan que las más tempranas y masivas son las menos numerosas (no llegan al 1%), Esto se debe no sólo a que las masivas evolucionan mucho más rápidamente que las otras ($\leq 10^7$ años vs. $\sim 10^{11}$ años), sino a que la naturaleza parece favorecer la formación de estrellas poco masivas. Sin embargo, se han encontrado evidencias de que esto último no fue así en los tiempos primordiales. Para avanzar en este aspecto, es necesario detectar estrellas masivas lo más lejanas posibles, lo cual nos asegura que estamos mirando cada vez más en el pasado del Universo. Se espera que emprendimientos

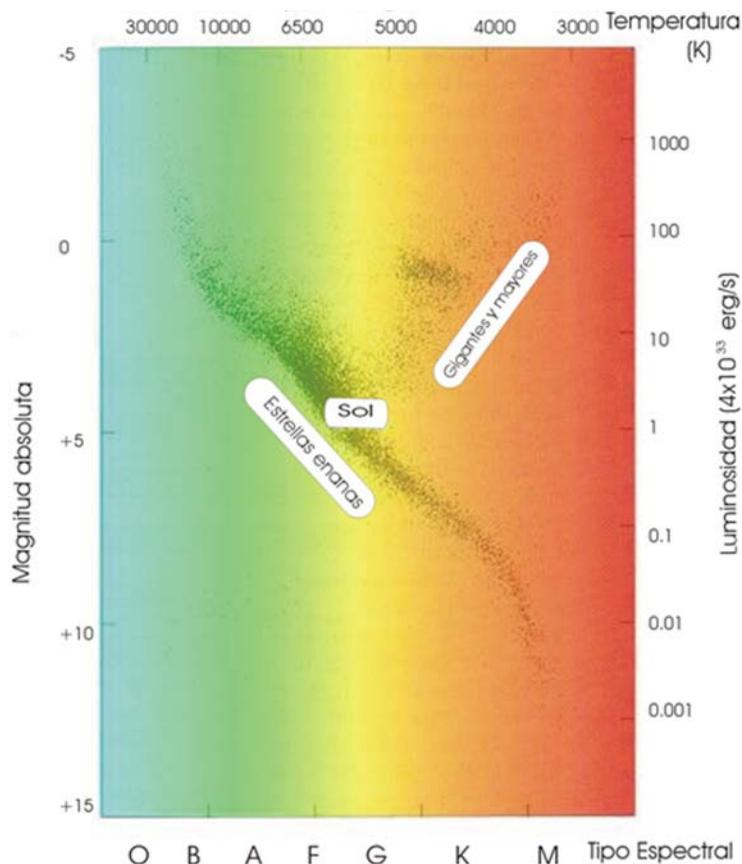


Figura 3: Diagrama Hertzsprung-Russell, donde se ubican las estrellas dependiendo de su brillo intrínseco (magnitud absoluta) y de su temperatura superficial (tipo espectral).

⁴⁾ Luminosidad de una estrella: cantidad de radiación (energía) emitida por segundo.

⁽⁵⁾ 1 masa solar: $M_0 = 2 \times 10^{33}$ g.

tecnológicos en desarrollo (como el James Webb Space Telescope, ver www.jwst.nasa.gov, planeado para inaugurarse en 2013) ayuden a encontrar algunas respuestas en esa dirección.

Las estrellas masivas, a través de las supernovas, son las responsables de la existencia de los elementos pesados, esto es, se ocupan del enriquecimiento químico del MIE. También juegan un papel en la dinámica del universo, pues entregan grandes cantidades de momento y energía al MIE, a través de pérdida de masa a lo largo de su vida en forma de vientos, y en las explosiones de supernova, además de proporcionar fotones ionizantes. A las estrellas tempranas se las llama trazadoras de la estructura espiral de la Galaxia, pues se forman en los brazos espirales de la Vía Láctea. Como son tan brillantes, se detectan en otras galaxias, y permiten definir una escala de distancias extragaláctica.

■ ESTRELLAS TEMPRANAS CON VIENTOS

La mayoría de las estrellas emiten no sólo radiación, sino también partículas a través de los llamados *vientos estelares* (ver Figura 4). La pérdida de material puede comprobarse analizando los espectros estelares: de ellos se deduce la presencia de material con velocidades mayores a la velocidad de escape de la estrella. El viento estelar es un plasma: está compuesto por átomos excitados, iones y electrones. El sol, por ejemplo, libera unas $10^{-14} M_{\odot}$ por año en forma de viento. En la actualidad, el viento solar se mide directamente con sondas espaciales. Las estrellas O más tempranas y masivas comienzan perdiendo unas $10^{-7} M_{\odot}$ /año en promedio, cuando están en la secuencia principal. Al terminar de "quemar" H en el centro⁽⁶⁾, la tasa de pérdida de masa aumenta unas 10 veces. La estrella ya perdió bastante masa, su envoltura se contrae, y se vuelve inestable. Se convierte en una estrella variable azul lu-

minosa (LBV). Esta etapa dura solamente unos 10,000 años, durante los cuales puede perder 4 o 5 masas solares. La contracción sigue, su temperatura crece, y en su atmósfera aparecerá He y N, y posteriormente oxígeno, lo cual se verá reflejado en los espectros medidos. A estas estrellas, sucesoras de las O, se las denomina estrellas Wolf-Rayet (WR), en honor a sus descubridores C. J. E. Wolf y G. A. P. Rayet (1867). La pérdida de masa puede llegar en ellas a valores de $10^{-4} M_{\odot}$ /año. La Figura 4 muestra una estrella masiva en el cúmulo IC 2220 (representada por la cruz), y el material eyectado por sus vientos, que forma una nebulosa, la cual brilla pues refleja la luz estelar.

Las estrellas LBV son fenómenos raros de observar. El arquetipo y uno de los más apasionantes ejemplares para estudiar es el sistema de Eta Carina, situado en el cielo sur, en la región conocida como la nebulosa de Carina, a unos ~ 2.5 kpc de distancia. En esta región se han formado 5 de las 10 estrellas más tempranas catalogadas de la Galaxia, con clasificaciones espectrales que van de O2 I a O3.5 V. Hace casi 200 años Eta Carina sufrió una eyección de material, cuyos restos pueden apreciarse en la imagen de la Figura 5. El gran físico y astrónomo argentino, R. Enrique Gaviola, fue un pionero en el estudio de este objeto austral, al realizar observaciones sistemáticas desde el Observatorio de Bosque



Figura 4: Estrella supergigante HD 65750, rodeada de material eyectado formando una nebulosa. El patrón de difracción en forma de cruz y el anillo, producidos por el telescopio, revelan la presencia del objeto central. El flujo es bipolar, descubriendo las condiciones físicas cercanas a la estrella (fuente: D. Malin, y Anglo-Australian Telescope).

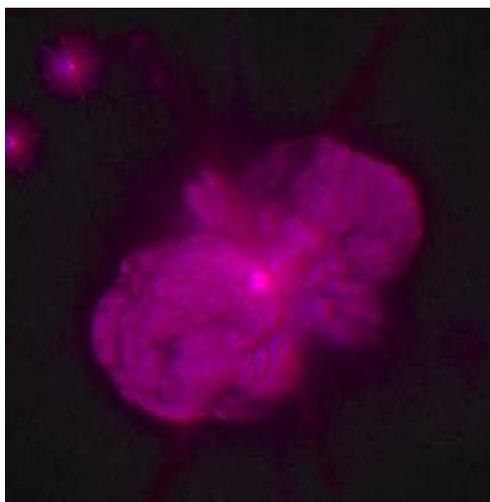


Figura 5: Expansión de gas y polvo a partir de la estrella Eta Carina (HD 93308). Pueden apreciarse los lóbulos y el disco ecuatorial. La imagen fue construida a partir de observaciones separadas en 17 meses, con el Hubble Space Telescope (fuente: J. Morse, C. Davidson y NASA).

⁽⁶⁾ En la jerga radioquímica, "quemar" hidrógeno significa producir helio, es decir, el hidrógeno se transforma en helio, por medio de una reacción química nuclear. En la química clásica, en cambio, quemar hidrógeno es combinarlo con oxígeno para formar agua.

Alegre, en Córdoba, Argentina, hacia 1950.

La eyección de material juega un papel fundamental en el ciclo de vida estelar. Las estrellas tempranas pierden más de la mitad de su masa inicial a través de vientos, antes de explotar como supernovas. En sus comienzos, hacia 1950, los estudios realizados sobre el viento solar ayudaron e impulsaron en gran medida a determinar los mecanismos responsables de la pérdida de masa en estrellas tempranas⁽⁷⁾. Hacia 1970, L. B. Lucy y P. B. Solomon desarrollaron la teoría de vientos impulsados por radiación, para explicar los vientos de estrellas tempranas masivas. En 1975, J. I. Castor, D. C. Abbott y R. I. Klein incluyeron mejoras a la teoría básica, diseñando la teoría "CAK". La radiación se propaga por fotones, y cada uno lleva una cantidad de movimiento igual a $h \nu / c$, donde h es la constante de Planck ($= 6.626 \times 10^{-27}$ erg s), ν la frecuencia de la onda, y c la velocidad de la luz. La absorción de esa cantidad de movimiento dentro del campo de radiación puede levantar o empujar la materia hacia afuera de la estrella, en dirección radial.

Los dos parámetros más importantes necesarios al describir un viento estelar son: la velocidad máxima a la que llega el gas (velocidad terminal del viento), y la tasa de pérdida de masa estelar. La velocidad terminal se deriva de observaciones espectrales, y se han encontrado valores de miles de km/s. El gas adquiere casi la velocidad terminal a unos pocos radios estelares. El viento se extiende hasta unos miles de radios estelares. La tasa de pérdida de masa predecirá la evolución de la estrella, y su determinación servirá para comprobar la viabilidad de modelos dinámicos de los vientos. Puede calcularse con observaciones de espectros en el rango óptico, ultravioleta, o medidas de intensidad en el rango de radio.

En el gas excitado y ionizado, los fotones estelares son atrapados y re-dispersados. El camino libre medio es muy corto: se dice que el gas es ópticamente grueso. Por esta razón, los fotones que llegan a nuestros instrumentos son sólo los de las capas más externas. Detectores sintonizados a frecuencias mayores podrán recibir fotones de capas más internas. Al contrario que en los casos de transiciones que involucran electrones ligados, los

electrones libres pueden interactuar con fotones de un rango continuo de energía. El viento actúa como un cuerpo que emite por estar caliente. Cuando un electrón pasa a un estado de menor energía, emite un fotón que será parte de la radiación que recibimos. A este mecanismo se le denomina radiación de frenado, o térmica, o Bremsstrahlung, del alemán (que en este caso será no-relativista, pues involucra partículas que se mueven a velocidades muchísimo menores que la de la luz). En las bandas de radio hasta infrarrojo, la presencia del viento produce un exceso de emisión, y puede modelarse con un espectro $S = k \nu^\alpha$, con $\alpha \sim 0.6 - 0.7$, y k , constante. Aquí S representa al flujo, o cantidad de radiación emitida por m^2 por segundo; ν es la frecuencia observada, y el exponente se denomina índice espectral. Se le llama índice espectral térmico al comprendido alrededor de los valores arriba mencionados de 0.6 a 0.7. Las radioondas se detectan con los llamados radiotelescopios, que consisten principalmente en un disco parabólico que refleja la radiación recibida de una fuente hacia un receptor. La señal es luego amplificada y procesada, permitiendo producir un mapa de radio a una determinada frecuencia. Los flujos medidos en radio son del orden de 10^{-26} erg/cm²/s, unidad llamada Jansky (Jy), en honor al astrónomo Karl Jansky, quien midió por primera vez ondas de radio de origen extraterrestre, en 1931. Para detectar emisión de los vientos estelares se precisan instrumentos de muy alta sensibilidad (del orden de 10^{-3} Jy o milijanskys, mJy) y resolución angular (aumento) de unos pocos segundos de arco o menor. Además de los radiotelescopios de un solo disco (de disco simple), existen los instrumentos llamados radio-interferómetros, formados por un conjunto de radiotelescopios combinados entre sí (ver por ejemplo el de la Figura 8) y equivalentes a un único radiotelescopio de diámetro mucho mayor, con los cuales se logran resoluciones angulares de hasta 1 milisegundo de arco.

¿ Por qué estudiamos los vientos estelares ? Las líneas espectrales de estrellas con vientos presentan una forma característica, llamada perfil P Cygni. Para descifrar los espectros es necesario predecir cómo la presencia de vientos los afecta. El principal impacto de la

pérdida de masa estelar se da en la evolución estelar, y en la abundancia de elementos en la superficie estelar. Las estrellas masivas actúan sobre la evolución química y dinámica de su entorno, en buena medida mediante el efecto acumulativo de los vientos. El estudio de la radiación ionizante permite ahondar en el conocimiento de la hidrodinámica de la radiación, aplicable cuando la radiación juega un rol dominante en los balances de energía y de momento de un plasma astrofísico.

Para poder detectar radiación generada en los vientos mediante observaciones, hubo que esperar a la construcción de instrumentos con la suficiente resolución angular. Téngase en cuenta que la región de vientos puede extenderse unos 1000 R_* , $\sim 20000 R_{\odot}$ ($\sim 10^{16}$ cm ~ 0.6 segundos de arco a 1 kpc. Aquí R_* representa la variable radio estelar. Hacia 1990, al observar un centenar de estrellas tempranas desde el radio-interferómetro Very Large Array⁽⁹⁾ (VLA) en Nuevo México, EEUU, se detectó emisión de radio, a frecuencias de unos pocos GHz (1 GHz = 10^9 Hz = 10^9 /s), en unas 25 estrellas. Sorprendentemente, se encontró que para algunas de ellas, el espectro de radiación se ajustaba con un índice espectral distinto del térmico, al que se denominó no-térmico, de valor cercano a 0 o aún negativo. Este comportamiento pudo explicarse invocando la presencia de electrones relativistas, es decir, con velocidades cercanas a las de la luz. Inmersos en el campo magnético estelar, los electrones son acelerados en un movimiento en espiral alrededor de la dirección del campo magnético y radían (efecto sincrotrón). En

⁽⁷⁾ La existencia del viento solar fue deducida indirectamente por L. Biermann en 1951, quien interpretó que deflexiones en la cola de cometas eran producidas por un flujo de radiación corpuscular proveniente del sol, con velocidades de unos 400 km/s. Recién en 1962, la sonda espacial Mariner 2 en su viaje hacia Venus, comprobó la existencia de un viento solar continuo.

⁽⁸⁾ R_{\odot} = Radio solar, igual a unos 7×10^{10} cm.

⁽⁹⁾ Very Large Array : conjunto de 27 radiotelescopios de 25 m de diámetro cada uno, y que trabajan juntos, en forma equivalente a un único gran radiotelescopio. "Array": distribución o disposición.

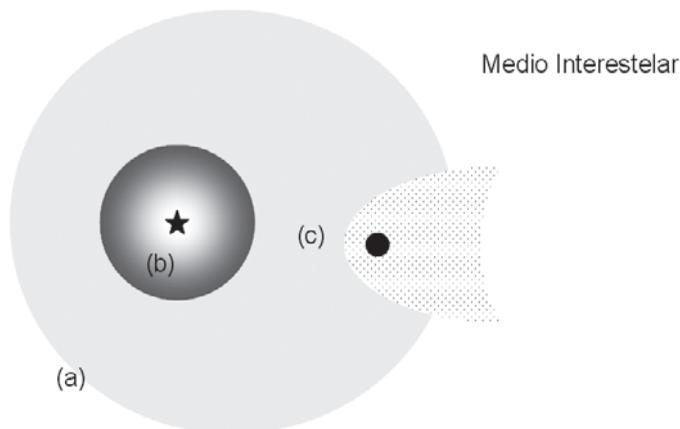


Figura 6: (a), (b) y (c) son las zonas donde se generan frentes de choque, y la consiguiente aceleración de partículas en sistemas estelares binarios. El asterisco representa la estrella primaria, y el punto, la secundaria.

forma más o menos paralela, se desarrollaron modelos de cómo acelerar partículas en las ondas de choque formadas en los vientos estelares. Se cree que las partículas están siendo aceleradas por un proceso llamado mecanismo de Fermi de primer orden, que actúa cuando las partículas atraviesan los frentes de choque⁽¹⁰⁾. Tendremos una idea de cómo funciona este mecanismo si pensamos en la analogía siguiente: supongamos la existencia de dos paredes paralelas, que se van acercando. Si se lanza una pelotita y ésta comienza a rebotar entre ambas paredes, (con pérdidas de energía despreciables), la velocidad de la pelotita irá en aumento pues las paredes, al moverse, le transfieren cantidad de movimiento (más energía). Eventualmente adquirirá una velocidad tan grande que una de las paredes se volverá transparente y será atravesada, y la pelotita escapará a velocidad relativista. Las estrellas en consideración pueden ser binarias, con una compañera o secundaria también poseedora de vientos fuertes: en regiones de interacción de dos vientos estelares también puede producirse radiación no-térmica. Se pudo demostrar además que la misma

población de electrones energéticos es capaz de producir emisión a altas energías: rayos X y gamma, en presencia de los campos de fotones ultravioletas de estas estrellas. Por otra parte, el mecanismo acelerador de electrones puede actuar sobre protones. Éstos, acelerados, al interactuar con núcleos en reposo, producen unas partículas elementales llamadas piones neutros, que

rápidamente decaen generando rayos gamma.

La Figura 6 muestra las zonas donde pueden acelerarse partículas en un sistema estelar binario con vientos: en la región de la onda de choque terminal entre los vientos y el medio interestelar (a), en los vientos individuales (b), y en la región de colisión de los dos vientos (c).

En 1991 la NASA lanzó al espacio el satélite conocido como Observatorio Compton de rayos gamma, que contaba con cuatro instrumentos a bordo, con el objetivo de medir radiación gamma (Figura 7). Uno de ellos, el Energetic Gamma-Ray Experiment Telescope (EGRET) relevó todo el cielo registrando fuentes gamma puntuales⁽¹¹⁾ con energías entre 100 MeV y 20 GeV⁽¹²⁾. Encontró unas 270 fuentes, 100 de las cuales pudieron identificarse con objetos ya conocidos (núcleos de otras galaxias, pulsares, etc.). Los restantes pasaron a formar la lista de fuentes gamma no identificadas, y el estudio de su naturaleza se convirtió en un tema candente dentro de la astrofísica actual. La tarea se ve dificultada porque la resolución angular de EGRET es del orden de 1 grado⁽¹³⁾, y



Figura 7: Dibujo del Observatorio de Rayos Gamma Compton (1991-2000) (fuente: NASA).



Figura 8: La foto muestra 5 de los 6 radiotelescopios de 22 m de diámetro del Australia Telescope Compact Array (ATCA), en Narrabri, NSW, Australia. A una dada frecuencia, la mayor resolución angular se alcanza cuando la máxima separación entre discos es de 6 km. A 90 GHz, la resolución angular es de décimas de segundo de arco (fuente: D. Malin y CSIRO).

⁽¹⁰⁾ Frente de choque: discontinuidad en el medio.

⁽¹¹⁾ Fuente puntual: es la que presenta una extensión menor o igual a la resolución angular del instrumento de observación.

⁽¹²⁾ eV: electrón-volt. $1 \text{ eV} = 1.602 \times 10^{-12}$ ergios. $1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV}$. $1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$.

muchas contrapartes detectadas a otras energías (objetos ya catalogados: estrellas, galaxias, etc.) pueden caer en su círculo de error.

Nuevos interferómetros fueron construidos en años recientes. El cielo norte y parte del sur pueden observarse, además de con el VLA, con distribuciones de antenas como el MERLIN (Reino Unido), el Very Large Baseline Array (EEUU), o el European VLBI Network (Europa), mientras que para mirar todo el cielo sur se inauguró el Australia Telescope Compact Array (ATCA), de 6 antenas de 22 m cada una (Figura 8). Este instrumento puede observar desde 1.4 hasta 90 GHz, con décimas de segundos de arco de resolución angular, y sensibilidad de centésimas de mJy.

■ SISTEMAS BINARIOS TEMPRANOS Y RAYOS GAMMA

Si bien en contados casos todavía, en los últimos años los radio-interferómetros más poderosos permitieron, no sólo obtener un valor del flujo recibido de un sistema estelar, sino confeccionar un mapa de la emisión. Con ayuda de espectroscopia óptica y ultravioleta se ha determinado el estado de binaridad de estos sistemas, formados

por estrellas WR, O y B tempranas. En estos radio-mapas aparecían al menos dos componentes: una sobre la estrella principal del sistema, y otra, no-térmica, cerca de la estrella secundaria, interpretada como generada en la zona de colisión de vientos.

Uno de los sistemas “resueltos” ha sido el de Cyg OB2 #5, formado por 3 estrellas: dos O muy cercanas, y una B0 a unos 0.008 pc. Está ubicado en la asociación estelar de Cygnus, la más rica de la galaxia en estrellas O y B: ¡unas 2600!, a ~ 1.8 kpc. La astrónoma mexicana M. E. Contreras y colaboradores observaron con el VLA una fuente de índice espectral variable localizada sobre las estrellas O, y otra de índice ~ -2, cerca de la estrella B (ver Figura 9). El sistema está superpuesto a una fuente gamma no identificada: 3EG J2033+4118 (ver Figura 10). Si suponemos que esta fuente está a igual distancia que el sistema estelar, el flujo medido por EGRET corresponde a una luminosidad igual a 2.5×10^{35} erg/s.

Dada la presencia de partículas relativistas en el sistema estelar, indicada por la detección de radiación sincrotrónica (es decir, generada por efecto sincrotrón) en ondas de radio, puede esperarse la producción de fotones muy energéticos. Los mecanismos relevantes en la

generación de rayos gamma en el sistema físico en estudio son tres:

1. Dispersión Compton inversa, producida cuando electrones relativistas interaccionan con los fotones UV estelares, en las regiones (b), y (c);
2. Bremsstrahlung relativista, producida cuando electrones relativistas se aceleran al atravesar campos electrostáticos de la región (c);
3. Decaimiento de piones neutros, producidos en interacciones entre protones relativistas y núcleos del viento o del MIE, en las tres regiones.

Teniendo como datos la intensidad de la emisión en radioondas y la extensión de la zona de colisión de vientos por un lado, y la intensidad de la emisión gamma por el otro, y completando los cálculos correspondientes se llega a la conclusión de que los procesos considerados en las zonas mencionadas pueden dar cuenta de al menos la mitad de la radiación detectada en 3EG J2033+4118. En la asociación de Cygnus hay otras estrellas con emisión no-térmica detectada, que podrían ser responsables de la emisión restante.

Luego de una fructífera y eficiente misión, el satélite Observatorio Compton consumió su combustible, y debió ser

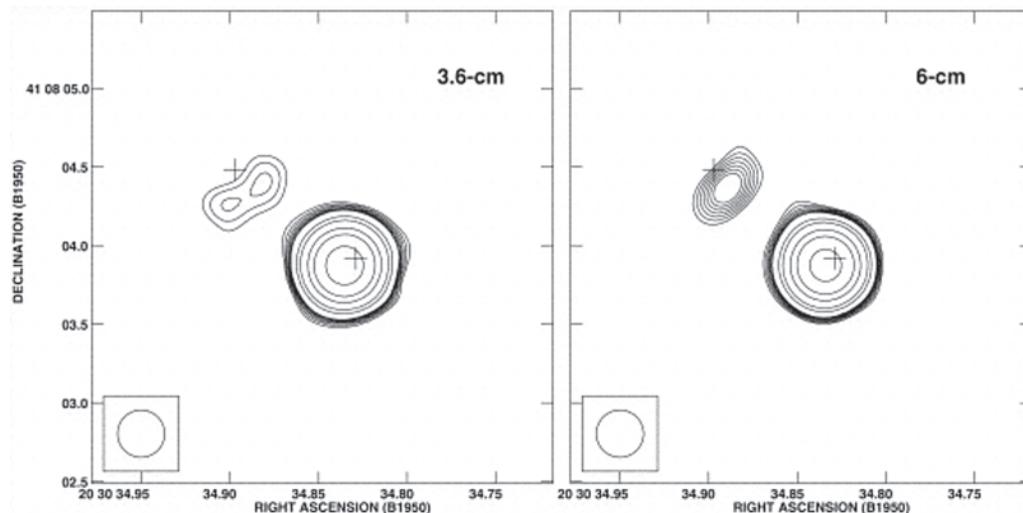


Figura 9: Imágenes tomadas con el Very Large Array. Izquierda: con el receptor centrado en 8 GHz ($\lambda = 3.6$ cm). Derecha: con el receptor de 5 GHz ($\lambda = 6$ cm) hacia Cyg OB2 #5. La cruz central representa la posición de la binaria cercana O+O, y la cruz a la izquierda, la estrella B terciaria (Contreras et al. 1997). La resolución angular es de ~ 0.3 segundos de arco, como lo indica el círculo en el extremo inferior izquierdo. Contornos: -0.1, 0.1, 0.12, 0.14, ..., 0.24, 0.48, 0.72, 1.44, 2.40, 4.80 y 8.40 mJy/beam⁽¹⁴⁾.

⁽¹³⁾ Para comparación, la luna subtiende un ángulo de 0.5 grados.

⁽¹⁴⁾ Beam o haz: representa la resolución angular.

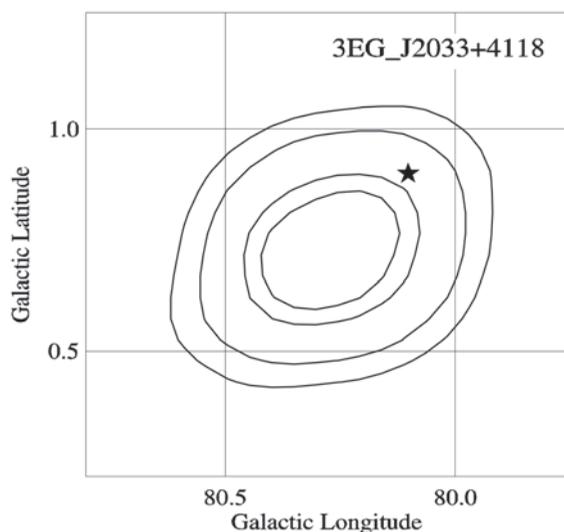


Figura 10: Contornos de probabilidad de localización de la fuente de rayos gamma detectada por el telescopio EGRET, 3EG J2033+4118 (50, 65, 90 y 99%). La estrella marca la posición de Cyg OB2 #5 (fuente: NASA).

bajado de su órbita incinerándose sobre el Pacífico, en junio de 2000. En octubre de 2002 una empresa conjunta entre la Agencia Espacial Europea – ESA- y la NASA, logró el lanzamiento del satélite INTEGRAL, que observa el cielo entre energías de keV y MeV. Uno de los blancos del nuevo instrumento será, precisamente, la estrella #5, lo que permitirá llevar a cabo la comparación entre la emisión medida y la calculada en base al modelo anterior.

A medida que se construyen receptores más sensibles y se mejora la resolución angular de los instrumentos de medición, parecen detectarse más estrellas tempranas no-térmicas. ¿Esto im-

plica que sean binarias? El problema es que el hecho de no detectar una compañera no significa que no exista, ya que puede estar oculta bajo el umbral de sensibilidad del instrumento de medición. Afortunadamente en paralelo con nuevos radiotelescopios se desarrollan impresionantes nuevos telescopios ópticos (comenzando con el Hubble, y últimamente el Gemini, el Very Large Telescope, etc.), con los cuales es posible determinar en muchos casos que la mayoría de las emisoras no-térmicas son binarias.

Desde la Argentina se está llevando a cabo desde 1998 un estudio multifrecuencia hacia estrellas tempranas

masivas australes, que consiste en primer lugar en observarlas en el rango de radio utilizando el ATCA. El proyecto, dirigido por la autora, incluye colaboraciones científicas con astrónomos de Australia, Bélgica y España. A las estrellas que muestran emisión no-térmica se las sigue con telescopios ópticos como el del Complejo Astronómico El Leoncito (CASLEO, Argentina). Y es posible predecir también si serán detectadas por el telescopio INTEGRAL, o por el futuro satélite de NASA GLAST (sucesor del satélite Compton).

Las observaciones en radio del viento estelar son verdaderos experimentos de detección. Las primeras dos campañas de observación hacia unas 12 estrellas permitieron detectar 5: dos con índice espectral térmico, y 3 con índice no-térmico. Las observaciones fueron realizadas utilizando simultáneamente receptores centrados en dos frecuencias (4.8 y 8.64 GHz), a partir de las que se dedujo el índice espectral. Para poder determinar si la emisión no-térmica proviene de una zona de colisión de vientos, o de un viento aislado, se están llevando a cabo estudios espectroscópicos ópticos de las mismas. La Figura 11 muestra las fuentes de radio detectadas a 8.64 GHz ($\lambda = 3$ cm) y a 4.8 GHz ($\lambda = 6$ cm), identificadas con la región de vientos de las estrellas HD 150135 (O6 V), y HD 150136 (O5 III). Se sabe que la más temprana es triple, y la otra, una posible binaria. Nuevas observaciones están en desarrollo y tienen como fin completar el espectro de radio de estos

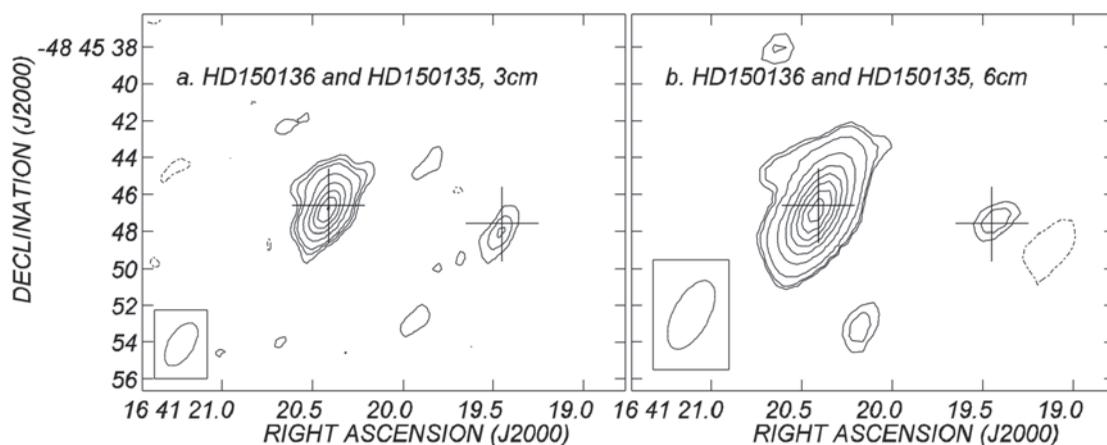


Figura 11: Imágenes tomadas con el Australia Telescope Compact Array hacia las estrellas HD 150135 (cruz derecha) y HD 150136 (cruz izquierda), a) a 8.6 GHz ($\lambda = 3$ cm); contornos: -0.08, 0.12, 0.2, 0.3, 0.6, 1.0, 1.4, 1.8 y 2.2 mJy/beam; b) a 4.8 GHz ($\lambda = 6$ cm); contornos: -0.15, 0.15, 0.2, 0.4, 1.0, 1.75, 2.5, 3.25, 4.0 y 4.75 mJy/beam.

objetos, y proceder a su interpretación, identificando los procesos que generan la emisión. Una vez determinada la geometría de los sistemas será posible predecir la emisión a altas energías esperable de los mismos.

■ ACCIÓN DE LOS VIENTOS SOBRE EL ENTORNO

Aunque el poder de resolución angular de los radiointerferómetros es grande, entre otras cosas, su campo de vista es relativamente pequeño: unos pocos minutos de arco como mucho. Para construir mapas de grandes zonas (~ grados) se recurre en cambio a instrumentos de disco simple, de metros de diámetro. En esta línea, el radiotelescopio I del Instituto Argentino de Radioastronomía es ideal a la hora de llevar a cabo el estudio de los alrededores de las estrellas con vientos. La antena de 30 m de diámetro, operando en 1.42 GHz, permite observar la emisión en línea del hidrógeno neutro (H I) interestelar⁽¹⁵⁾, el mayor constituyente del MIE. A medida que los vientos se fortalecen en las estrellas tempranas enanas, el gas eyectado se va apilando alrededor de la estrella, y la acción continua de los vientos barre el material hacia el MIE. Se forma una cáscara de material ionizado, visible en el rango óptico, y material interestelar neutro barrido, detectable a la frecuencia $\nu = 1.42$ GHz, o $\lambda = 21$ cm. La estructura recibe el nombre de *burbuja interestelar*, y mide unas pocas decenas de parsecs, equivalentes a unos pocos grados en el cielo, en estrellas situadas a algunos kpcs. La resolución angular del radiotelescopio del IAR es de 30 minutos de arco.

Siguiendo esta idea se han detectado burbujas interestelares alrededor de estrellas O y WR. La observación en línea (es decir, cuando se espera emisión a una frecuencia determinada) posibilita, aventajando a la observación en continuo, determinar la velocidad del material emisor, utilizando el efecto Doppler. Si el material está en movimiento, la línea aparecerá corrida en frecuencia. De este modo se obtiene no sólo la distribución espacial del H I, en el plano del cielo, sino además su comportamiento cinemático (cómo varía la distribución con la velocidad del material). Los astrónomos que es-

tudian la estructura galáctica han construido mapas que relacionan velocidad del gas con distancia al observador, dependiendo de la zona del cielo a la que se mire. Entonces, de la distribución en velocidad puede estimarse la distancia al gas. Calculando los parámetros de la burbuja (extensión, velocidad de la estructura como un todo, velocidad de expansión, energía necesaria en construirla, densidad ambiente original, etc.) se determinan indirectamente características de la estrella que la creó, y de sus vientos.

El objeto Wack 2134 es una estrella Wolf Rayet, situado a no más de 3 kpc, posiblemente binaria con una estrella O. Es una fuente muy brillante y variable en rayos X. Superpuesta a la misma se halla una fuente de rayos gamma no-identificada 3EG J1027-5817. Se ha llevado a cabo un estudio del sistema en varias bandas: (i) observaciones en continuo de radio a alta resolución con el ATCA, para determinar características del viento estelar, (ii) observacio-

nes a baja resolución en línea de 21 cm, para investigar de qué forma los fuertes vientos de la estrella interactúan con el entorno, (iii) espectroscopía óptica para intentar determinar su estado de binaridad, y (iv) un estudio comparativo de la emisión X registrada en épocas anteriores por diferentes telescopios (Benaglia y cols. 2005). Los datos de radio tomados desde el IAR mostraron la presencia de una burbuja interestelar, probablemente creada por la acción de los vientos de la estrella (ver Figura 12). La estructura en forma de cáscara incompleta estaría formada por unas 9000 masas solares de H I. Se expande a una velocidad de ~10 km/s. La energía necesaria para crearla resulta en unos 10^{49} erg/s. Esto último es consistente con el resultado de que la energía mecánica de los vientos de ambas componentes del sistema es 10 veces mayor. En la Fig. 12 se representa asimismo la posición de la fuente de rayos gamma detectada por EGRET. Puede apreciarse

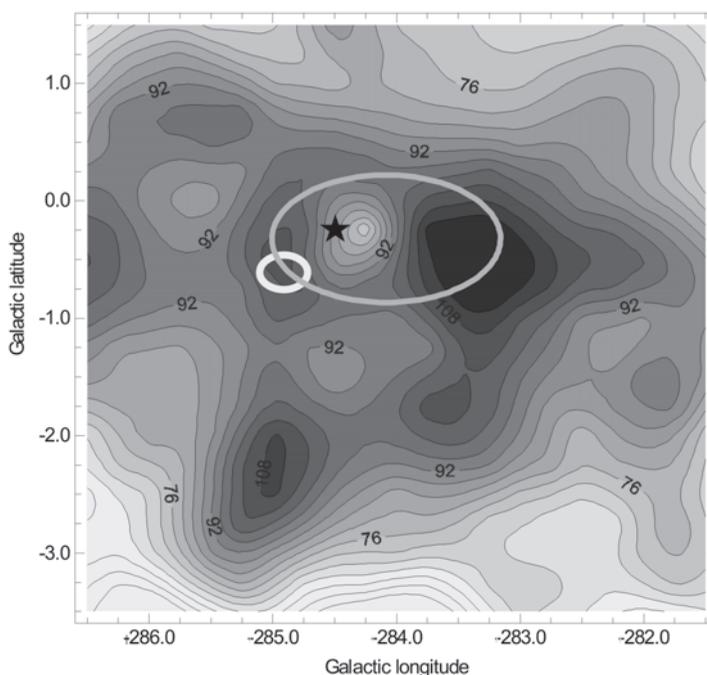


Figura 12: Cantidad de átomos de hidrógeno neutro por cm^2 (en unidades de 10^{19}), en la dirección de la línea de la visual, con velocidades del gas entre -21 y -14 km/s. El símbolo estelar marca la posición de Wack 2134. La elipse blanca representa la localización de la fuente de rayos gamma 3EG J1027-5817. La distribución del material alrededor del mínimo que contiene a la estrella estaría formando una especie de cáscara incompleta, o burbuja interestelar, esquematizada por la elipse gris.

⁽¹⁵⁾ Línea de 21 cm de longitud de onda (λ): producida por la transición hiperfina del átomo de hidrógeno neutro, cuando los momentos magnéticos del electrón y del protón se vuelven paralelos.

que la misma se superpone con una concentración o nube de HI, que forma la pared izquierda de la cáscara. Si ambos objetos se localizan a la misma distancia, la interacción entre partículas energéticas en regiones del viento estelar y átomos de la nube, produciría rayos gamma. Utilizando parámetros derivados de las observaciones de HI, y bajo ciertas suposiciones, se ha deducido que este proceso contribuiría a la emisión gamma detectada, pero no la explicaría en su totalidad. Deben evaluarse fenómenos adicionales.

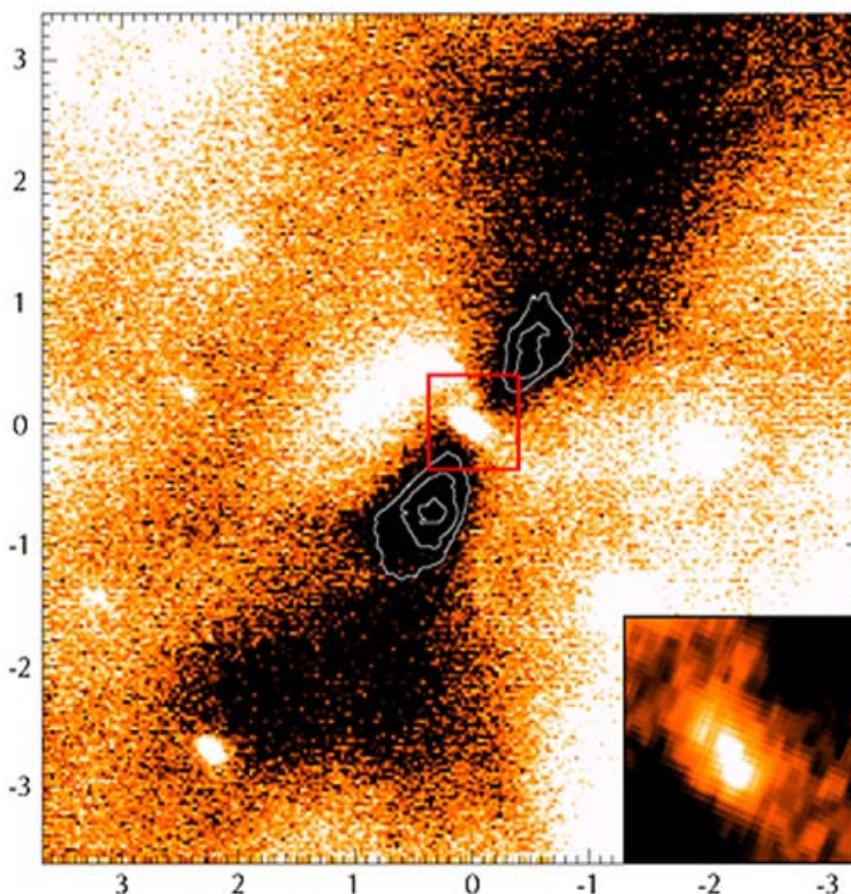
■ PRÓXIMOS DESAFÍOS

El tema de los vientos estelares ha cobrado gran fuerza en los últimos años con el desarrollo de los llamados grandes telescopios y sus descubrimientos. A esto debe sumarse el hecho de que

los datos están accesibles cada vez con mayor rapidez, y astrónomos de distintas especialidades pueden trabajar conjuntamente con mayor facilidad. Por ejemplo, en mayo de 2004, un grupo de científicos, la mayoría del European Space Observatory, luego de un gran esfuerzo observacional con diferentes telescopios e instrumentos, descubrieron que las estrellas de alta masa parecen formarse por el mismo mecanismo que las de baja masa: vía acreción a través de un disco circumestelar. Usaron telescopios infrarrojos muy sensibles para observar la nube molecular de la región HII⁽¹⁶⁾ M17. Lograron detectar emisión débil del gas calentado por un cúmulo de estrellas masivas, localizado atrás de la nube, mirando a través del polvo interestelar. Las observaciones permitieron ver un disco de canto, asociado a la nebulosa de reflexión. Este sistema es compati-

ble con una estrella masiva recién formada, rodeada por un enorme disco de acreción, y acompañada por un flujo de masa bipolar (ver Figura 13). Las observaciones corroboran cálculos teóricos, que afirman que estrellas de unas 40 masas solares o más se formarían con el mismo proceso que está activo durante la formación de estrellas de masas menores.

Sin embargo, la problemática asociada al tema de los vientos estelares dista de estar completamente resuelta. Todavía no se pueden explicar del todo algunos aspectos del fenómeno, como por ejemplo la variabilidad de ciertos vientos estelares. En los procesos físicos involucrados, el campo magnético estelar juega un papel importante, y hay muy pocos valores medidos de estos campos, tanto en intensidad como en la geometría. Otro problema es que los telescopios ac-



—Figura 13: Imagen en la banda infrarroja Ks, de la silueta de disco obtenida con el telescopio Very Large Telescope, en Paranal, Chile. El disco aparece de color blanco. La región central está ampliada en el extremo inferior derecho (fuente: R. Chini, D. Nurnberger, ESO).

⁽¹⁶⁾ Región HII: región de hidrógeno ionizado, producida por el gran flujo ultravioleta de las estrellas O sobre el medio circumestelar.

tuales de rayos gamma tienen poco aumento comparado con el que se obtiene a otras longitudes de onda. Una gran incógnita es si las estrellas simples son capaces de producir emisión a altas energías: aunque se han desarrollado modelos teóricos, no hay evidencia concluyente sobre emisión no-térmica proveniente de este tipo de objetos.

En los próximos meses, el análisis de las observaciones desde el satélite INTEGRAL (energías de MeV) hacia sistemas estelares tempranos permitirán verificar las predicciones de algunos modelos de emisión a altas energías. Los grandes telescopios ópticos (Hubble, VLT, Gemini Norte y Sur) están ayudando a detectar cada vez más compañeras tempranas y a definir la geometría de los sistemas binarios.

En el futuro inmediato, se espera que entren en funcionamiento dos nuevos instrumentos:

- El Gamma Large Area Space Telescope (GLAST), programado para ver la primera luz en el año 2008, y desarrollado principalmente por científicos de EEUU, Italia, Francia, Japón y Suecia. Observará entre 10 MeV y 100 GeV, será unas 50 veces más sensible que el telescopio EGRET, y su resolución angular llegará a segundos de arco (glast.gsfc.nasa.gov);
- El Atacama Large Millimeter Array (ALMA), que se cree se completará hacia 2012. Actualmente están en prueba dos prototipos de antena. Será un superinterferómetro para el cielo sur en el rango de radio, formado por alrededor de 65 antenas de 12 mm cada una, a instalarse en el norte de Chile, a unos 5000 m de altura. Su planeamiento y construcción es un emprendimiento subsidiado por organizaciones europeas y norteamericanas principalmente. Operará a frecuencias de decenas a cientos de GHz (ondas milimétricas), llegando a resoluciones angulares de centésimos de segundos de arco (www.alma.nrao.edu).

Con la ayuda de estos poderosos equipos, los astrónomos sin duda serán más capaces de contestar muchas de las preguntas abiertas sobre los vientos estelares. Como siempre, las nuevas respuestas llevarán a nuevos interrogantes.

■ **LECTURAS SUGERIDAS**

Generales:

- J.B. Kaler, "Stars", 1998, Scientific American Library, New York
- J.B. Kaler, "Extreme stars: at the edge of creation", 2001, Cambridge University Press, UK
- H.J.G.L.M. Lamers & J.P. Cassinelli, "Introduction to stellar winds", 1999, Cambridge University Press, UK
- Página web del Grupo de Astrofísica Relativista y Radioastronomía (GARRA): www.iar.unlp.edu.ar/garra/
- P. Benaglia, «Radioestrellas, vientos en colisión y HD 93129A», 2007, Boletín Radioastronómico del IAR #17 (www.iar.unlp.edu.ar/ES/boletin/bol-jun07.htm)

Artículos técnicos

- P. Benaglia, G.E. Romero, I.R. Stevens & D.F. Torres, 2001, Astronomy and Astrophysics 366, 605
- P. Benaglia, C.E. Cappa & B. Koribalski, 2001, Astronomy and Astrophysics 372, 952
- P. Benaglia & G.E. Romero, 2003, Astronomy and Astrophysics 399, 1121
- P. Benaglia & B. Koribalski, 2004, Astronomy and Astrophysics 416, 171
- P. Benaglia, G.E. Romero, B. Koribalski & A.M.T. Pollock, 2005, Astronomy and Astrophysics 440, 743
- J.I. Castor, D.C. Abbott & R.I. Klein, 1975, The Astrophysical Journal 195, 157
- M.E. Contreras, L.F. Rodríguez, M.F. Tapia, et al., 1997, The Astrophysical Journal 488, L153
- L.B. Lucy & P.B. Solomon, 1970, The Astrophysical Journal 159, 879

CONGRESOS Y REUNIONES

6 INTERNATIONAL CONFERENCE OF BIOLOGICAL PHYSICS ICBP 2007

and

5 SOUTHERN CONE BIOPHYSICS CONGRESS

Montevideo – Uruguay / 27-31 august 2007

www.icbp2007.org.uy

XVII CONGRESO GEOLÓGICO ARGENTINO

San Salvador de Jujuy del 7 al 10 de octubre de 2008

www.congresogeologico.org.ar

Las comunidades bacterianas

Su rol en la biosfera y el metabolismo.
Probióticos y Prebióticos

Palabras claves: asociaciones bacterianas, microflora intestinal, probióticos
Key words: bacterial associations, intestinal microflora, probiotics

Por Rosa Nagel ■

INAME-ANMAT
Investigadora Principal CONICET
Avenida Caseros 2161,
Buenos Aires, Argentina
e-mail: ronagel@mail.retina.ar

Investigaciones recientes, basadas en técnicas moleculares, han revelado la gran diversidad y complejidad metabólica de los microorganismos presentes en el mar, en el suelo y en otros organismos. Los microorganismos forman asociaciones complejas que son esenciales para el mantenimiento del equilibrio de la biosfera y de los organismos. Se especula que el conocimiento del metabolismo de bacterias no conocidas hasta el presente permitirá, entre otras posibilidades, el descubrimiento y empleo de nuevas formas de energía. Es interesante destacar que las asociaciones microbianas presentes en el intestino humano desempeñan un papel crucial, tanto en la protección frente a la infección, como en el mantenimiento de funciones esenciales para la salud. El agregado de agentes conocidos como probióticos, es decir, bacterias con efecto benéfico, y prebióticos, alimentos o sustancias que promueven el crecimiento de estas bacterias, ayudan a modular la composición de la microflora intestinal.

■ COMPLEJIDAD Y ROL DE LAS ASOCIACIONES BACTERIANAS

Un enorme porcentaje de los seres vivos está constituido por bacterias. Los microbios son los organismos más antiguos del planeta. Su origen se estima en alrededor de 4 mil millones de años.

A pesar de su tamaño microscópico constituyen una parte altamente significativa de la masa de los seres vivos (biomasa) que constituye nuestra biosfera.

Los estudios con los microorganismos son particularmente útiles para el abordaje de temas complejos como la biodiversidad y la evolución. Además, el descubrimiento y conocimiento de nuevas especies de bacterias y nuevos metabolismos podrá resultar de gran importancia desde el punto de vista del conocimiento básico y de sus aplicaciones.

Decenas de miles de especies bacterianas están representadas en el Gen Bank, donde se inscriben las secuencias de nucleótidos de los organismos,

resultantes del análisis parcial o total de sus genomas. Sin embargo éstas serían sólo una pequeña fracción de las especies existentes. Estimaciones recientes sugieren que el mar podría albergar alrededor de 10 millones de especies bacterianas diferentes, y que una tonelada de suelo podría contener unos 4 millones de tipos de bacterias. Sólo el intestino humano contiene en promedio 1.2 kg de bacterias. Nuevos grupos de bacterias continúan descubriéndose permanentemente en la cavidad bucal.

Se estima que el 99% de las bacterias no han sido aún cultivadas en el laboratorio. Muchas bacterias no son pasibles de ser cultivadas en el laboratorio como monocultivos (cultivo de una sola cepa aislada) pues están adaptadas a crecer en ciertos ambientes como parte de una comunidad más compleja.

La determinación de la diversidad bacteriana se lleva a cabo mediante el empleo de técnicas de biología molecular. De este modo se obvia la necesidad de aislar cada tipo de organismo. Una de las técnicas empleadas es PCR (por "polymerase chain reaction"), que consiste en la amplificación por la enzima ADN polimerasa de genes o fragmentos de genes, en este caso a los correspondientes al ARN ribosomal (rARN), en particular el ARN de 16s, de muestras de ADN provenientes de un determinado habitat (Esquema 1). El rARN se considera una molécula tipo cronómetro, que sirve para medir cambios evolutivos, y ha sido empleada para el análisis filogenético de las bacterias. Las secuencias obtenidas se comparan con otras secuencias conocidas y si no muestran grandes similitudes se consideran como pertenecientes a un nuevo organismo.

Nuevos enfoques técnicos se aplican a la detección de bacterias en mezclas complejas, como el secuenciamento de fragmentos genómicos obtenidos por rotura al azar del ADN proveniente de mezclas de poblaciones de bacterias, método denominado de perdigonado («shotgun»). (Esquema 1). El análisis computacional de las secuencias superpuestas o solapadas («overlapping») de los extremos de los fragmentos pro-

sibilita la configuración de un genoma. Además, una nueva secuencia, aunque parcial, permite evidenciar la presencia de genes no conocidos.

Estudios realizados con este enfoque sobre biofilms formados en el drenaje ácido de una mina permitió conocer los genomas casi completos de algunas bacterias capaces de crecer en estos ambientes extremos (denominadas extremófilas).

Este método fue aplicado por Craig Venter (The Institute for Biological Energy Alternatives, IBEA, Rockville, Maryland) *para el estudio de muestras de bacterias extraídas del Mar de los Sargazos, una región del Océano Atlántico cercana a la península de Florida. (C. Venter fue director de uno de los dos equipos de trabajo que generaron la primera versión de la secuencia completa del genoma humano). El Mar de los Sargazos fue elegido porque, dado su bajo contenido en nutrientes, se estimó contendría un bajo número de especies. Debido a que la mayoría de las bacterias marinas no crecen en el laboratorio, una manera de detectarlas se basa en el secuenciamento de las muestras de ADN extraídas del mar. Los estudios realizados, que involucraron el secuenciamento y análisis de un billón (10^{12}) de pares de bases, permitieron identificar más de un millón de genes desconocidos hasta el presente, y se detectaron nuevos genes, unos 700, con secuencias atribuibles a nuevos tipos de foto-receptores (substancias capaces de captar la luz y de convertirla en señales electroquímicas, esto es, nuevas formas de energía)**. Se ha afirmado que habría una información genética tan particular e interesante en un litro de

agua de mar como en el genoma humano.

La complejidad de este tipo de estudio es mucho mayor que la del genoma humano por cuanto hay muchas especies involucradas y su frecuencia puede variar, con el muestreo, en el espacio y en el tiempo.

C. Venter considera que estos estudios podrían evidenciar nuevas formas de metabolismo cuyo conocimiento posibilite la generación de formas alternativas de energía con la utilización de la luz solar, por ejemplo por producción de hidrógeno.

■ INTERACCIONES BACTERIA-ORGANISMO

Claire Fraser (The Institute for Genomic Research (TIGR), Rockville, Maryland) y sus colaboradores y la Universidad de Stanford, California, tienen el proyecto de aplicar la misma técnica de análisis del ADN (método de perdigonado o «shotgun») empleada para el secuenciamento del genoma humano y de la flora bacteriana del Mar de los Sargazos, para conocer la flora que habita nuestras cavidades bucales. Un análisis similar se llevará a cabo para el estudio de la flora intestinal y de la vagina.

Existirían al menos 500 especies de bacterias que viven en el intestino humano, alrededor de 500 en la cavidad bucal, y otras 500 en la vagina.

* The Institute for Biological Energy Alternatives (IBEA) se fusionó con otros dos institutos, The Center for the Advancement of Genomics (TCAG) y J.Craig Venter Institute Science Foundation Joint Technology Center (JTC), formando el actualmente denominado J.Craig Venter Institute (JCVI).

** El estudio realizado por JCVI en el Mar de los Sargazos fue extendido entre agosto de 2003 y mayo de 2004 a las comunidades microbianas del NO del Atlántico y la zona tropical E del Océano Pacífico (Sorcerer II Global Ocean Sampling Expeditions, GOS). Los datos y resultados comenzaron a publicarse en marzo de 2007 (<http://collections.plos.org/plosbiology/gos-2007.php>). Se realizaron 7.7 millones de secuenciamentos que totalizaron 6.3 millones de pares de bases (el doble que los del genoma humano). De estos datos se concluye la existencia de 6 millones de nuevas proteínas, miles de quinasas diferentes y gran variedad de proteorodopsinas (sustancias captadoras de luz).

Esquema 1

Secuenciamento genómico (método de perdigonado o «shotgun»)

- Fragmentación al azar del ADN genómico en segmentos de varios miles de bases de longitud.
- Secuenciamento de las bases de estos segmentos.
- Ensamble de estos segmentos en función de las secuencias con solapamiento («overlapping») mediante el empleo de programas computacionales (bioinformática).

Secuenciamento del ARN ribosomal de 16s (16s rARN)

- Amplificación por PCR de los genes correspondientes al ARN de 16s.
- Secuenciamento de la secuencias amplificadas.
- Análisis comparativo de estas secuencias

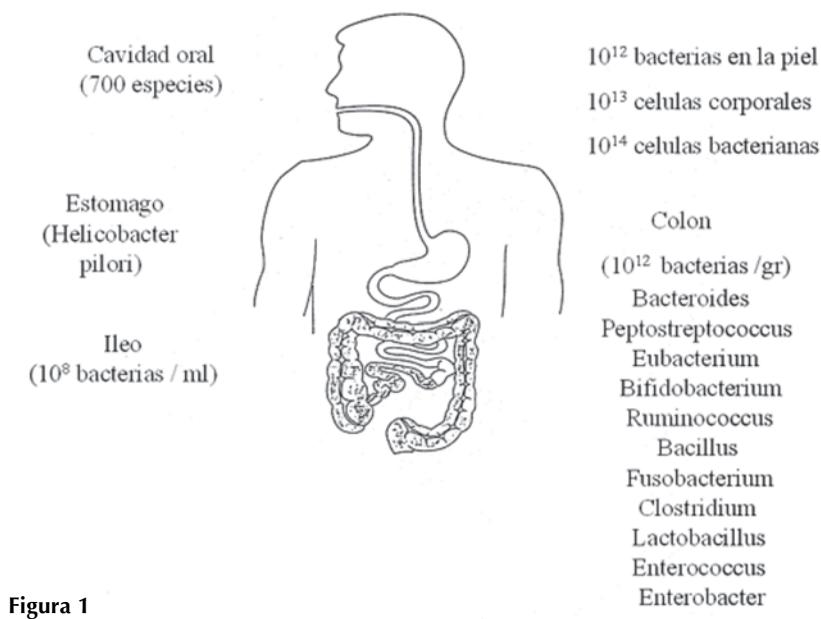


Figura 1

Aunque parezca increíble aproximadamente el 95% del total de las células de nuestro organismo son bacterias, las que se encuentran localizadas fundamentalmente en el intestino grueso! Habitan nuestro colon alrededor de 10^{12} (1 billón) microorganismos por ml.

Estudios realizados con el ADN extraído de placas bacterianas formadas sobre dientes o encías revelaron que más del 40% de las secuencias nucleotídicas encontradas no habían sido descritas previamente.

Mediante el estudio y comparación de las secuencias de ARN de 16s de la flora intestinal se concluyó que en nuestro intestino somos portadores de varios centenares de bacterias, y además habría diferencias en el contenido de especies entre persona y persona. No habría dos personas que lleven el mismo complemento de bacterias. Esta flora se establece al azar en cada persona a partir del nacimiento y se mantiene prácticamente estable durante toda la vida. La flora se iría modificando luego de los 60 años de edad.

Las asociaciones de bacterias que habitan nuestros intestinos se consideran vitales: a) para ayudar en la digestión b) para excluir bacterias patógenas.

¿Cuáles son las bacterias que habitan nuestros intestinos? ¿Algunas especies de bacterias podrían predisponernos a ciertas enfermedades como el cáncer de colon? ¿Se puede modificar nuestra flora intestinal?

Se conoce que las bacterias intestinales ayudan en la digestión por hidrólisis

de las fibras, enzimas y otras proteínas. Bacterias tales como *Bifidobacterium*, *Lactobacillus* y *Eubacterias*, involucradas en reacciones de fermentación, producen ácidos orgánicos que son absorbidos y utilizados como fuente de energía. Y es probable que muchos otros microorganismos, aún desconocidos por nosotros, sean nuestros mejores aliados.

Otras bacterias pueden tener efectos no deseables, como las del género *Clostridium*, que generan nitrosaminas y cresoles que podrían tener posibles efectos carcinogénicos.

Existe un importante efecto de sinergismo entre las bacterias intestinales y el organismo huésped. Un interesante ejemplo de ello lo constituyen los resultados de estudios realizados por J. Gordon y col. (Washington University, School of Medicine, St. Louis, Mo., USA) en ratones recién nacidos, en los que se demostró que una bacteria anaeróbica *Bacteroides thetaiotaomicron* controla la síntesis por las células del intestino de una proteína, angiogenina 4 (ang4), que es esencial para la formación de los vasos sanguíneos y que es además un potente agente antimicrobiano. Mata a bacterias patógenas como *Listeria monocytogenes*, *Streptococcus pneumoniae* y *Enterococcus faecalis* y hongos patógenos como *Candida albicans* sin afectar otros residentes del intestino, como *E. coli*.

Las bacterias cuentan con mecanismos de señales, designadas autoinduc-

tores, que les permiten sentir su número o densidad e inducir una serie de funciones. En un trabajo reciente se demuestra que dos moléculas señal de este tipo, derivadas de la molécula homoserin-lactona, producidas por la bacteria patógena *Pseudomonas aeruginosa*, pueden modular también la expresión génica en las células huésped. De manera tal que estas señales no sólo son reconocidas por las bacterias, sino que penetran y funcionan en las células eucariotas.

Gordon y sus colaboradores comenzaron a estudiar la microbiota intestinal del pez-cebra ("*Zebrafish*" o *Danio rerio*), un pececillo muy estudiado por los genetistas. Cuando este pez se hace crecer libre de gérmenes tiene problemas en la utilización de nutrientes, en la renovación del epitelio intestinal y en la detoxificación de sustancias dañinas. La microbiota intestinal regula la expresión de 212 genes del pez!. Curiosamente, 59 de estos genes son análogos a genes regulados por bacterias en el intestino del ratón. Es muy interesante la similitud observada en las respuestas del pez-cebra y del ratón a la microbiota intestinal, dadas las distancias evolutivas y la diferente composición de las floras microbianas de ambos organismos.

PROBIÓTICOS Y PREBIÓTICOS

Los antibióticos, la dieta y el estrés son factores que alteran el equilibrio bacteriano intestinal provocando inflamación, gases y diarrea. Este equilibrio es importante y es poco lo que sabemos sobre él.

Varios equipos de trabajo estudian el tipo de alteraciones que ocurren al nivel de la flora microbiana intestinal y el potencial efecto benéfico que ejerce sobre ella la ingesta de cierto tipo de bacterias y sustancias. Las bacterias con efecto benéfico se denominan **probióticos** y los ingredientes alimentarios que promueven su crecimiento en el intestino se denominan **prebióticos**. Los productos que contienen probióticos y prebióticos se denominan **simbióticos**. En el esquema 2 se presenta un listado de los probióticos y prebióticos más empleados.

Los probióticos se emplean desde hace ya 40 años en Europa, USA y Japón, en la alimentación de animales

Esquema 2

Los prebióticos y probióticos en uso en el mundo, particularmente en Japón, donde los primeros constituyen un mercado altamente desarrollado, son:

Prebióticos

Inulina
Fructo-oligosacárido (FOS)
Galacto-oligosacárido (GOS)
Oligosacáridos de la soja
Gluco-oligosacáridos
Polidextrosa
Lactulosa
Lactosucrosa
Xilo-oligosacáridos
Isomalto-oligosacáridos

Probióticos

Lactobacillus casei
L. acidophilus
L. fermentum
L. johnsonii
L. plantarum
L. rhamnosus
L. rhamnosus GG
Bifidobacterium longum
B. infantis
B. bifidum
Lactococcus
Streptococcus
Especies de *Saccharomyces*
Escherichia coli Nissle

de granja habiéndose observado disminución del riesgo de infección, aumento en el rendimiento alimentario y mejoramiento de la producción (huevos, carne, leche). Su aplicación como aditivo alimentario ha cobrado mayor importancia como reemplazo del empleo de los antibióticos, dados los serios problemas sanitarios derivados de la aparición de cepas bacterianas con resistencias múltiples a los mismos.

Las bacterias probióticas, tales como ciertos tipos de lactobacilos o bifidobacterias se agregan a yogures y a otros tipos de alimentos.

La comercialización de este tipo de productos, en forma de alimentos fermentados, alimentos suplementados y preparados farmacéuticos, mueve en el mundo un volumen considerable de recursos. Además, este mercado presenta perspectivas futuras muy promisorias.

En la ciudad de Tucumán funciona el CERELA (Centro de Estudio de Referencia de Lactobacilos), Instituto de CONICET, que se dedica al estudio de las bacterias lácticas. En esta institución se han desarrollado y patentado productos fermentados probióticos, como la leche Bio, y se encuentran en proceso de desarrollo nuevos productos probióticos a ser obtenidos por fermentación láctica de la leche de soja, con el objeto de conseguir un producto más digerible y nutritivo.

Si bien existen numerosas evidencias sobre el efecto de los probióticos, éstas no siempre son absolutamente rigurosas y muchas veces no se conoce exactamente su mecanismo.

La leche humana contiene una mezcla compleja de glucoproteínas y oligosacáridos que estimulan a las bifidobacterias, que tienen propiedades inhibitorias contra varios patógenos intestinales. Este efecto explicaría las bondades atribuidas a la alimentación de los bebés con la leche materna.

Un estudio realizado con bebés recién nacidos, de madres provenientes de familias con antecedentes de alergias, y que fueron tratados diariamente con *Lactobacillus rhamnosus* durante 6 meses permitió demostrar que éstos fueron menos propensos a desarrollar reacciones alérgicas que los controles que no tuvieron este tratamiento.

Aproximadamente dos tercios de la población humana adulta muestra intolerancia al azúcar lactosa, presente en la leche, con prevalencia en lugares de África, Asia, y en Sicilia en Europa. Las personas que sufren este problema toleran mejor la lactosa presente en el yogur, que en la leche. Una explicación para ello es que el yogur y las bacterias lácticas presentes en él poseen niveles más altos de lactasa, enzima que hidroliza la lactosa (en glucosa y galactosa).

Los prebióticos son un tipo de azúcares, oligosacáridos, no digeribles, que estimulan el crecimiento de ciertos microorganismos con efectos benéficos sobre su huésped.

Para calificar como prebiótico un ingrediente alimenticio debe tener las siguientes propiedades: 1) ser estable bajo las condiciones ácidas del estómago y frente a las secreciones del intestino delgado; 2) transferirse intacto

al colon; 3) tener un metabolismo selectivo para ciertos géneros de bacterias considerados como beneficiosas, tales como bifidobacterias y lactobacilos. Una serie de efectos sobre la salud se encuentran asociados con la ingesta de prebióticos, aunque algunos no han sido rigurosamente comprobados y en otros muchos casos los mecanismos se desconocen. Los prebióticos podrían interferir con mensajes enviados por patógenos y actuar así como agentes anti-infecciosos.

Los alimentos como cebollas, ajos, espárragos, leche y bananas, entre otros, contienen prebióticos naturales.

Glenn Gibson, gastroenterólogo de la Universidad de Reading (Reino Unido) estudia las bacterias intestinales para conocer mejor este ecosistema, y para poder evaluar, entre otros, el efecto de los probióticos y prebióticos sobre el mismo. Para ello instaló en su laboratorio sistemas de tubos y frascos que representan diferentes secciones del colon de infantes y adultos, normales y con distintas enfermedades (colon irritable, colitis ulcerosa o cáncer), que sembró con mezclas conocidas de microorganismos. Cada sistema fue provisto, a través de «una boca», de alimentos, de probióticos y de prebióticos. Se consiguió así controlar artificialmente la velocidad del tránsito del alimento, e inducir la simulación de diarreas o constipación.

Gibson y sus colaboradores se encuentran estudiando el efecto del agregado de organismos probióticos como *Lactobacillus plantarum*, con el de un azúcar prebiótico, a situaciones similares a las de varios tipos de enfermedades intestinales inflamatorias, con el objeto de determinar su efecto sobre la microbiota.

Se espera que el empleo conjunto de sistemas in vitro y de modelos animales para el estudio de la flora intestinal y sus modificaciones, y la aplicación de metodologías moleculares, permita conocer mejor los eventos que ocurren en el interior de nuestro tubo digestivo y mejorar el diagnóstico de sus enfermedades. Ello posibilitará optimizar el empleo de probióticos y prebióticos y favorecerá el desarrollo de nuevos productos simbióticos que actúen más específicamente sobre los agentes causales.

GLOSARIO

ADN: molécula portadora de la información genética constituida por una cadena lineal de nucleótidos (que llevan el azúcar desoxiribosa).

Aminoácido: unidad de la cadena polipeptídica constituida por un ácido orgánico con uno más grupos amino.

ARN: cadena lineal de nucleótidos (que llevan el azúcar ribosa).

Bases: purinas (guanina, G y adenina, A) y pirimidinas (timina, T y citosina, C), cuya secuencia en la molécula de ADN determina la información genética de un organismo.

Biofilm: asociación de bacterias de un mismo tipo o de diferentes microorganismos, que forma una película sobre ciertas superficies, y que adquiere propiedades distintas, como por ej. mayor resistencia a antibióticos.

Eucariota: seres vivos que tienen núcleo diferenciado, por oposición a bacterias, que no lo tienen.

Fotoreceptor: receptor que responde a un estímulo lumínico.

Gen: segmento de ADN que codifica un polipéptido.

Genoma: conjunto de la información genética de un organismo determinado por la secuencia de bases en el ADN. Glicoproteína: proteína que contiene además grupos glicosídicos (azúcares).

Microbiota: conjunto de bacterias que viven en un determinado recinto.

Monosacáridos: polialcoholes que contienen un grupo aldehído o cetónico y llevan 3 o más átomos de carbono y que constituyen la unidad (en general con 5 o 6 átomos de carbono) de los oligo- o polisacáridos.

Oligosacárido: monosacáridos unidos por enlaces glucosídicos que contiene un número pequeño (2 a aproximadamente 20) de residuos o unidades.

Organela: pequeña estructura organizada, dentro de la célula.

Nucleótido: unidad constituyente de los ácidos nucleicos que lleva un azúcar (ribosa o desoxiribosa), una base (citosina, guanina, timina o guanina) y un grupo fosfato.

Ribosoma: organela constituida por ARN y proteínas, sitio de la biosíntesis de proteínas. En bacterias ésta formada por la subunidad de 30s (lleva el ARN de 16s) y la subunidad de 50s (lleva ARNs de 23s y de 5s).

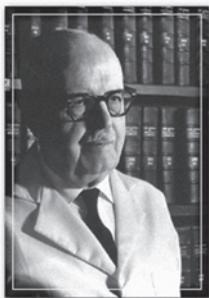
PCR: («polymerase chain reaction») reacción de amplificación de una secuencia nucleotídica por acción de la ADN polimerasa.

Polipéptido o proteína: secuencia lineal de aminoácidos unidos por uniones peptídicas.

s: (de Svedberg, el inventor de la ultracentrífuga) unidad de la velocidad de sedimentación de una molécula de gran tamaño.

BIBLIOGRAFÍA

- Curtis, T.P., Sloan, W.T., Scannell, J.W. (2002) Estimating prokaryotic diversity and its limits *Proc Natl Acad Sci USA* 99: 10494-10499.
- Kalliomäki, M. et al. (2003) Probiotics and prevention of atopic disease: 4-year follow-up of a randomised placebo-controlled trial. *The Lancet*. 361: 1869-1871.
- Rawls, J.F., Samuel, B.S., Gordon, J.I. (2004) Gnotobiotic zebrafish reveal evolutionary conserved responses to the gut microbiota. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA*. 101: 4596-4601.
- Sonnenburg, J.L., Angenent, L.T., Gordon, J.I. Getting a grip on things: how do communities of bacterial symbionts become established in our intestines? *Nat. Immunol.* 2004 5 (6) 569-573
- Tuohy, K.M., Probert, H.M., Smejkal, C.W., Gibson, G.R. (2003) Using probiotics and prebiotics to improve gut health. *Drugs Discovery Today*. 8: 692-700.
- Venter, J.C. et al. (2004) Environmental genomic shotgun sequencing of the Sargaso Sea. *Science*. 304: 58-60.
- Williams, S.C., Patterson E.K., Carty N.L., Griswold J.A., Hamood A.N., Rumbaugh K.P. (2004) *Pseudomonas aeruginosa* autoinducer enters and functions in mammalian cells. *J. Bacteriol.* 186: 2281-2287.
- Woese, C.R. (1987) Bacterial Evolution. *Microbiol. Rev.* 51: 221-271.
- Sitios de internet con información actualizada sobre probióticos y prebióticos:
www.issap.net/
www.vtt.fi/virtual/proeuhealth



Dr. Bernardo A. Houssay

Instituto de Biología y Medicina Experimental

IBYME

El Instituto de Biología y Medicina Experimental (IBYME), asociado al CONICET, fue fundado por el Dr. Bernardo A. Houssay en 1944. Su Misión es impulsar el conocimiento en diversas áreas como: oncología, endocrinología, reproducción, neurociencias, comportamiento, inmunopatología y biotecnología. Todo ello está orientado a ampliar el conocimiento de los principios fundamentales que rigen el funcionamiento de los seres vivos y desarrollar aplicaciones tecnológicas en el área de la biomedicina.

IByME - CONICET - Vuelta de Obligado 2490 – Buenos Aires - Argentina / Tel: 54-11-47832869

VULCANISMO SUBMARINO

He tenido oportunidad a través de un amigo argentino de contar con dos números de vuestra revista y acceso a la página web. Me ha resultado estimulante que en Argentina exista una revista de divulgación y del nivel con el que cuenta Cel. En la página web también he encontrado información variada, a la cual sigo accediendo para mantenerme informada sobre avances y noticias científicas. Recientemente he tenido oportunidad de leer algunas noticias relacionadas a gases de efecto invernadero, y me sorprendió que haya grupos de científicos que plantean orígenes prácticamente desconocidos por el común de la gente, como ser el vulcanismo submarino inyectando dióxido de carbono y metano desde el fondo de los mares. Me permito sugerir, y por supuesto dentro de vuestras posibilidades publiquen algún artículo sobre dichos temas, que estimo resultarían de mucho interés. Adelante, y es una alegría contar con revistas como Ciencia e Investigación.

Alexandra Huber Starnberg.
Bavaria. Alemania

CE: *Agradecemos sus elogios y su inquietud nos ha impulsado a solicitar a un especialista un trabajo sobre el tema. Tenga paciencia y gracias otra vez.*

CAMBIO CLIMÁTICO

Sería muy importante que la revista publicara un artículo sobre la verdad del cambio climático. Tengo entendido que el clima no es algo estático, tiene sus oscilaciones naturales y no de un único período sino de varios superpuestos lo que lo hace ir cambiando irregularmente con algunas variaciones mucho más significativas que otras. Sobre estas alteraciones que se sabe son naturales ¿qué porcentaje realmente se puede atribuir hoy a la actividad humana?. ¿La imagen catastrófica, que están dando algunos medios de comunicación y asociaciones ecológicas, tiene realmente asidero científico serio?. ¿Cómo se puede conocer realmente el cambio que sufre la temperatura media del planeta si hace unas décadas no se podía medir con el grado de pre-

cisión que se hace ahora (tecnología de medición más el hacerlo desde satélites abarcando grandes áreas), entonces cómo se compara para saber que realmente sube más de lo normal y que no se trata de una de las tantas variaciones naturales?. Creo de cualquier manera que es bueno detener toda contaminación de nuestro planeta pero también es bueno hacerlo en base a información correcta.

El efecto invernadero se atribuye fundamentalmente al dióxido de carbono generado por el consumo de ciertas fuentes de energía pero al mismo tiempo poco se habla de la deforestación, sumamente importante en este caso por ser justamente el reino vegetal el que puede consumir, en su provecho, ese exceso de dicho gas.

José A. Bonigliano

Mar del Plata

CE: *Es un tema que nos viene preocupando desde hace tiempo, especialmente porque existen opiniones encontradas. Tan es así que estamos pensando en la posibilidad de organizar una reunión con expertos en el tema para que sea seriamente discutido.*

Instrucciones Correo de Lectores: Invitamos a los lectores a enviarnos (no más de 300 palabras) sus opiniones sobre artículos que se publican en esta revista, temas y noticias de actualidad científica y tecnológica y en respuesta a otras cartas de lectores. Las mismas deberán ser enviadas por correo electrónico a cparica@unsam.edu.ar colocando en asunto «Correo de Lectores Cel» y al final del texto de la carta deberán identificarse con nombre y apellido y lugar de residencia. (Ej. Carlos Rodríguez, Pergamino, Provincia de Buenos Aires). Ciencia e Investigación se reserva el derecho de publicación y los autores serán personalmente responsables por el contenido de las mismas.

CONICET



Consejo Nacional de Investigaciones
Científicas y Técnicas

Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva
Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología
Presidencia de la Nación - República Argentina

www.conicet.gov.ar

COMENTARIOS DE LIBROS

"El Futuro no es más lo que era. La tecnología y la gente en tiempos de internet"

del Ing. Horacio C. Reggini, Editorial Universidad Católica Argentina,
Buenos Aires, 2005.

Por Dr. Héctor J. Fasoli ■

Al tiempo de haber leído más de la mitad de los setenta y cinco artículos del libro "El futuro no es más lo que era" del Ingeniero Horacio Reggini, tuve el privilegio de compartir con el autor un viaje de estudios por la Patagonia, acompañando a más de 40 estudiantes universitarios.

Esta coincidencia espacio-temporal me permitió comprobar hasta qué punto una obra puede ser el reflejo exacto del pensamiento del escritor, y más aún: cómo el pensamiento y la acción pueden ocurrir al mismo tiempo y en la misma persona hasta confundirse en un solo acto para el cual no hay en castellano una palabra precisa que lo defina. Es que el Ingeniero Reggini es exactamente como parece ser a través de los capítulos de su último libro: alguien para quien **pensar y hacer - hacer y pensar** son una cosa única y singular.

En los tiempos que corren, en la difícil situación nacional, esto no es una simple declamación: "para salir a flote nos vemos urgidos a obrar" nos dice Reggini trayendo hasta hoy aquellas palabras nunca atendidas dichas por Ortega y Gasset hace bastante más de medio siglo: "Argentinos: ¡a las cosas!"

Leer el último libro del Ing. Reggini es recorrer más de quince años de pensamientos coherentes relacionados con la "explosión tecnológica", a la cual el mismo autor se encarga de poner en su justo sitio, como herramienta al servicio del hombre y no como instrumento de frivolidad capaz de fabricar "ávidos consumidores". Y hace esto con la autoridad de quien ha contribuido desde su actividad profesional y

académica a desarrollar y expandir una de las áreas que ha producido una inflexión en la cultura contemporánea: la informática.

En jornadas de más de 12 horas de estudio y trabajo, el Ing. Reggini y sus alumnos pusieron en práctica esa curiosa y respetuosa complicidad académica que se pone en juego siempre entre el maestro y sus discípulos.

Educador al fin, el Ingeniero Reggini está convencido de que hay que difundir a la ciencia y a la tecnología a través de su práctica en las aulas desde la enseñanza primaria, donde "más que recibir los productos de la ciencia, los niños deben desarrollar la actitud científica". Actitud - digámoslo claramente - no para formar solamente futuros profesionales de la ciencia, sino fundamentalmente para hacer ciudadanos comunes entrenados con espíritu curioso e inquisidor, signos del desarrollo pleno de la inteligencia de cada uno. ¿O acaso en cada proyecto de la vida cotidiana no es necesario planear, elegir modos y medios de acción, y hallar soluciones lo más simples posibles? Y eso, al fin y al cabo, no es más ni menos que el **método científico**.

Obsérvese, de paso, que aquí parece volcarse la balanza hacia el **hacer** antes que el pensar. Es que hay activi-

dades que distinguen por la obra y no por el conocimiento teórico: a un científico, lo mismo que a un poeta, no lo hacen ni un título universitario ni el conocimiento ortodoxo de las más recónditas reglas lingüísticas; en todo arte hay una ciencia subyacente, como la aplicación de una ciencia implica siempre el manejo de un arte; y así como no se nos ocurriría preguntar si Miguel Ángel conocía las propiedades químicas de los pigmentos con que pintó la capilla Sixtina, tampoco nos preguntamos sobre qué musas científicas inspiraron la belleza encerrada en los 13 volúmenes de la obra de Euclides o su "Division del Canon", ese magnífico estudio matemático sobre la música.

Reggini reconoce que la tarea que hay por delante en la educación de nuestros niños es enorme. Optimista incorregible, sin embargo está convencido de que la mayor dificultad para introducir las innovaciones necesarias "reside en la mente de las personas y no en la carencia de recursos". Una afirmación que tendrían que leer y releer muchos de los que andan pregonando desde hace décadas que la única causa de todos los males es "la falta de presupuesto".

Al principio de esta nota hablamos de que la coherencia entre la letra y el acto es una constante en el autor. ¿Qué me-

por ejemplo de eso que el mismo viaje de estudio con que comenzamos el artículo? Allí estábamos nosotros con casi cinco decenas de estudiantes aprendiendo y sirviendo en lugares más próximos al faro del fin del mundo que de nuestras propias casas en Buenos Aires.

“La Universidad sale a la calle, averigua los problemas sociales de todo orden (...); todo estudio de cualquier naturaleza puede alcanzar el grado de estudio universitario: caen así las viejas paredes que limitan los estudios a las Facultades clásicas (...), para dar ancho espacio a la colaboración que la Universidad debe al pueblo en el que se desarrolla” decía en 1945 Horacio Rivarola, rector de la Universidad de Buenos Aires, y dice hoy el Ing. Reggini en su libro, al tiempo que ejerce puntualmente lo que acaba de dejar escrito. Otra vez pensar y hacer – hacer y pensar...

Esta revaloración de la Universidad al servicio de la comunidad no sólo a través de la **creación** de conocimiento sino de su **aplicación** contrasta con las tendencias actuales que transformaron el concepto de educación como “bien social” en una “mercancía”. En este tema el Ing. Reggini no está solo: lo acompañan en su denuncia pensadores de la talla de Hill Readings (Universidad de Montreal). Y aún solo en esa lucha, sus observaciones de Reggini no perderían un centésimo de su validez.

*Mientras compartíamos días de intensa actividad en las provincias del Chubut y de Santa Cruz, avanzaba yo en la lectura del libro al tiempo que compartía charlas ocasionales con su autor: experiencia interesante pues así, siendo a un tiempo lector e interlocutor, se descubre que es posible **conversar con un texto escrito** y **leer los pensamientos vivos del escritor**.*

En esa “lecto-conversación” con “El futuro no es más lo que era” y el Ing. Reggini se pone de manifiesto el absurdo al que nos ha llevado el esquema cultural al dividir drásticamente aguas entre Ciencia y Humanidades, como si el estudio de la Química, la Física o la Biología no fueran cuestiones profundamente humanas.

Defensor del conocimiento integral, nos dice que “lamentablemente aún no disponemos de planes que eduquen en y para la diversidad; que eduquen

en la complejidad humana”, Y a la complejidad se la enfrenta con conocimientos básicos en todas las áreas y no con ultraspecializaciones “por defecto”. Más aún, sólo con una formación amplia se podrá “intensificar el progreso en un sentido en que el mundo moderno parece fallar: los aspectos morales y espirituales, sin los cuales todo progreso técnico resulta inútil”.

Muchos de los artículos del libro ponen de manifiesto también el amor de Reggini por la Ingeniería. Digo más, muestran el **enamoramiento** permanente que existe entre ambos, en una unión que lleva ya varias décadas. La Ingeniería es para Reggini más que una profesión: es una posibilidad de **hacer** en cualquier actividad humana. El mismo autor nos recuerda que Paul Valéry definió a Edgar Allan Poe como un “ingeniero literario que profundiza y utiliza todos los recursos de su arte”. Así, el ingeniero “clásico” (es decir, el de las grandes obras civiles, el que transforma las materias primas en nuevos productos al servicio del hombre, el de las comunicaciones vertiginosas) utiliza todos los recursos de su arte y de la ciencia para desarrollar su *ingenium*, es decir su inspiración y talento.

Desde ese amor profundo que emana del hombre y su obra, el autor advierte a los nuevos ingenieros que “no deben dejarse seducir por el frenesí del bit, ignorando cuestiones de base (...) como la construcción de plantas industriales y obras de infraestructura que (...) el país exige para su reconstrucción”. Pero para eso el ingeniero “debe soñar, debe mirar lejos e inventar el futuro”. Es decir que obrar y soñar son tareas complementarias e íntimas del ingeniero: otra vez **hacer y pensar – pensar y hacer...**

“El Futuro no es más lo que era” camina hacia el porvenir como en la representación de algunas culturas: de espaldas, mirando hacia el pasado que es lo que realmente podemos ver. Esa visión y comprensión correcta del pasado nos permitirá ver el futuro con un tercer ojo sabio y juicioso. Por esos aspectos importantísimos del libro: la cita continua de grandes pensadores, pero fundamentalmente de grandes **hacedores**, a los que el autor **ad-mira** con la admiración del discípulo a su maestro.

Profundamente argentino, pero no chovinista, hay dos personas-personajes que lo marcaron: Hilario Fernández Long, el maestro con quien se hizo ingeniero compartiendo la ingeniería **en acto presente**, y Domingo Faustino Sarmiento, quien lo hizo ingeniero desde el pasado.

Me detengo en este último por una razón muy simple: el reconocimiento de Reggini a Sarmiento no es más que la afirmación rotunda de todo lo que vinimos sosteniendo en esta nota. Sin título, el sanjuanino fue un gran **ingeniero**, que utilizó toda su inspiración y todo su talento para **hacer**. El mismo nos lo dice: “creo poseer el secreto de hacer las obras, y es hacerlas desde que se concibe la idea de su necesidad (...). Haciéndolas es como se palpan las dificultades y se encuentran los medios para realizarlas”. Sarmiento es el maestro del *hacer y pensar*, pero dicho más bien así: *pensar y HACER*. Porque lo que más impresiona a Reggini de Sarmiento no es su contribución literaria (que es obra **en potencia**) sino lo que dejó construido desde su función pública: su obra **en acto**. Más aún - y digámoslo de una vez - aún admitiendo las críticas politizadas a muchas de sus ideas, no hay una sola de las obras de Sarmiento de la que pueda decirse que no contribuyó al engrandecimiento cultural y el progreso de la Patria. Toda la obra tangible y, en definitiva, **cuantitativa**, de Sarmiento produjo un cambio fundamental y **cuantitativo** en la cultura nacional: el sanjuanino contribuyó en gran medida a que en la Argentina después de Caseros **el futuro no fuera más lo que era** hasta entonces.

Dos viajes terminaron simultáneamente: las largas jornadas de estudio y discusión constructiva en las tierras remotas del sur y la lectura de este compendio lleno de pensamientos visionarios y de entusiasmo por nuestro futuro. La diferencia entre uno y otro es que el arribo del ómnibus o el avión nos anuncia el final de la travesía y, a lo sumo, la posibilidad de un nuevo destino; un buen libro, en cambio, puede transformarse en un compañero permanente para nuestro viaje a lo largo de la vida.

Ambos pueden también tener algo en común: bien aprovechados son capaces de hacer que los hombres de bien sean aún mejores para sí mismos y para sus semejantes.

OBITUARIO

Dr Hector Carminatti (1930 - 2007)

En la tarde del 2 de febrero de 2007 falleció el Dr Hector Carminatti, miembro del grupo de investigación presidido por el Dr. Luis Federico Leloir, Premio Nobel de Química en el año 1970.

Por I. D. Algranatti, M. A. Dankert, J. M. Olavarria, M. Radrizzani y R. Gomez Vecchio

El Dr Héctor Carminatti, para todos nosotros «Carmi», como afectuosamente lo llamábamos, se incorporó al Instituto de Investigaciones Bioquímicas Fundación Campomar, en julio de 1957, como experto en radioactividad. Se había graduado poco antes como Doctor en Química, en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires. Su trabajo de Doctorado lo realizó en la Comisión Nacional de Energía Atómica bajo la dirección de Walter Seelmann-Eggebert, un destacado investigador alemán, fundador del primer grupo de radioquímicos del país. Seelmann-Eggebert, que también había trabajado en Tucumán, fue discípulo nada menos que de Otto Hahn, Premio Nobel en 1944, por haber descubierto la fisión del uranio. Dejó nuestro país porque Hahn lo invitó a seguir colaborando en su Instituto, en Alemania.

Los estudios post-doctorales los realizó Carminatti en la Universidad de California, Berkeley, Estados Unidos, trabajando en los laboratorios de Melvin Calvin (quien recibiría el Premio Nobel en 1961) en la utilización de carbono radioactivo (C14) en la síntesis de compuestos biológicos.

Gracias a la participación de Carminatti el Instituto comenzó a usar sustancias marcadas con isótopos radioactivos para investigar distintos caminos metabólicos, y su aporte fue de gran importancia en

los trabajos que permitieron descubrir la síntesis de glucógeno, del manano y de glicoproteínas.

Todos los que compartimos esos años de laboratorio con Carminatti recordamos como logró sintetizar glucosa-C14 con hojas de achira mantenidas en una atmósfera de anhídrido carbónico radioactivo. Cómo a partir de dicho azúcar, y después de múltiples reacciones enzimáticas y arduas purificaciones, obtuvo UDP-glucosa-C14.

De esta manera nuestros laboratorios fueron los primeros del país que utilizaron compuestos radioactivos como trazadores, en investigación bioquímica, y el Instituto fue el primer lugar del mundo en sintetizar nucleotido-azúcares marcados.

Carminatti desarrolló múltiples actividades relacionadas con la investigación bioquímica. Después de haber participado en numerosos trabajos sobre el metabolismo de los azúcares, muchos de ellos en colaboración con el grupo del Dr Leloir, también incursionó en el campo de la neurobiología realizando estudios bioquímicos de proteína-fosfatasa y de fosfoproteínas asociadas con la formación de sinapsis en el sistema nervioso.

También fue un activo y entusiasta colaborador en la creación de un Programa Nacional de Enfermedades Neurodegenerativas; fue investigador



de la carrera del CONICET y profesor Titular de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires. Presidió la Fundación Campomar entre 1988 y 1991, formando también discípulos que han desarrollado distinguidas carreras científicas en distintos países. Fue un activo defensor del desarrollo científico de la Argentina, causa por la que luchó a través de diversas campañas y artículos periodísticos.

Con un estilo mesurado, solía expresar públicamente su preocupación por las falencias del sistema científico argentino y sus consecuencias sobre el desarrollo nacional. Un ejemplo de ello fue cuando, en ocasión de cumplirse 30 años del Premio Nobel otor-

gado al Dr Leloir, el Dr Carminatti manifestó en un artículo publicado en el diario La Nación: **«Nuestra generación tiene la responsabilidad de haber recibido un país rico (después de la segunda guerra mundial) y les vamos a dejar a nuestros hijos un país entre los más pobres del mundo. Tenemos un tercio de la población entre los marginados, desocupados y pobres sin esperanza. Hemos ignorado el poder de la ciencia y de la tecnología. Hemos despreciado nuestra verdade-**

ra riqueza, la inteligencia del pueblo. Los jóvenes se van del país y la comunidad científica argentina en el exilio es cada vez más importante. Hoy, el ejemplo de Leloir, que parecería que hemos olvidado, puede ayudarnos a desafiar el futuro, sin cometer los errores del pasado.»

Carminatti en su juventud fue un excelente jugador de tenis. Se casó, a los 27 años, con María Rosa Caride, mujer ejemplar con la que tuvo cinco hijos, hoy todos ellos casados.

«Carmi» ha dejado 21 nietos. Como uno de los miembros más antiguos del Instituto de Investigaciones Bioquímicas (se incorporó cuando la Fundación Campomar se hallaba todavía en la calle Julián Alvarez 1719) Carminatti será recordado por todos los que lo conocimos por su calidad humana, y por su permanente entusiasmo por la investigación científica, la que según sus propias palabras, **«es la clave del futuro de nuestro país y de América.»**

Glaci Zancan (1935 - 2007)

Glaci Theresinha Zancan, Profesora de la Universidad Federal de Parana(UFPR) y ex Presidenta de la Sociedad Brasileira para el Progreso de las Ciencias (SBPC) falleció en la tarde del viernes 29 de junio de 2007, en Florianópolis, Santa Catalina, Brasil.

Por M. A. Dankert

Glaci estudió y obtuvo su doctorado en la Universidad Federal de Río Grande del Sur, especializándose en la Universidad Católica de Lovaina, Bélgica. Pero su post doctorado lo hizo aquí, en Buenos Aires, en el Instituto de Investigaciones Bioquímicas Fundación Campomar, trabajando en el laboratorio del Dr Luis Leloir, Premio Nobel de Química en 1970.

Desde 1960 trabajó en la Universidad Federal de Paraná, Curitiba, Brasil, hasta jubilarse, en 2003. Su gran preocupación fue mejorar la enseñanza y el desarrollo de la Bioquímica y promover la investigación, en Brasil. Como Jefa del Departamento de Bioquímica y cofundadora y coordinadora del Programa de Postgraduación de dicha Universidad, formó 24 alumnos de Maestrías y Doctorados. En 1995 y hasta 1999 ocupó la Vicepresidencia de la Sociedad Brasileira para el Progreso de las Ciencias, y a continuación, hasta 2003, ejerció su Presidencia. Desde estos cargos bregó por la difusión de la investigación científica en todas las Universidades de su

país, y por el análisis riguroso del valor de los proyectos por parte de evaluadores de reconocida competencia, estimulando la profesionalización del investigador y la valoración de su trabajo, tanto en las universidades como en otros institutos de investigación.

Fue también Presidenta y Vicepresidenta de la Sociedad Brasileira de Bioquímica y Biología Molecular (SBBq) y miembro del Consejo Superior de Coordinación de Perfeccionamiento del Personal de Nivel Superior (Capes) de 2005 a 2007. Presidió asimismo la Comisión del Plan Nacional de Postgraduación organizado por la Capes y coordinó la Escuela Brasilero-Argentina de Biotecnología.

En la 55ª Reunión Anual de la SBPC, en Recife, resumió los principales logros obtenidos durante su presidencia, defendiendo una total reforma de las universidades brasileras y presentó proyectos para descentralizar la investigación del país. Su enorme contribución al desarrollo de la Ciencia en todo Brasil fue reconocida ya en el año 2000



por el Gobierno Federal, al otorgarle la Orden del Mérito Científico en el grado de Gran Cruz.

Para los que conocimos a esta infatigable, simpatiquísima y patriota gauchita brasilerá (había nacido en San Borja), será muy difícil olvidarla, por su vivacidad, su eterna alegría y su inquebrantable rectitud. El Dr Leloir tenía por ella especial afecto y respeto. Dejó en el Instituto un recuerdo inolvidable.

La Ciencia Argentina también está de luto.

INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

CIENCIA E INVESTIGACION

Ciencia e Investigación, órgano de difusión de la Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias (AAPC), es una revista de divulgación científica y tecnológica destinada a educadores, estudiantes universitarios, profesionales y público en general. La temática abarcada por sus artículos es amplia y va desde temas básicos hasta bibliográficos: actividades desarrolladas por científicos y tecnólogos, reuniones nacionales e internacionales, entrevistas, historia de las ciencias, crónicas de actualidad, biografías y comentarios bibliográficos. La revista tiene difusión en dos versiones *impresa* y *on line*.

PRESENTACIÓN DEL MANUSCRITO

El manuscrito deberá presentarse escrito con procesador de texto word (extensión «doc») en castellano, en hoja tamaño A4, a doble espacio, con márgenes de por lo menos 2,5 cm en cada lado, letra Time New Roman tamaño 12. Las páginas deben numerarse (arriba a la derecha) en forma corrida, incluyendo el texto, bibliografía y las leyendas de las figuras. Colocar las ilustraciones (figuras y tablas) al final en página sin numerar.

La primer página deberá contener en el orden siguiente: Título del trabajo, nombre de los autores, institución a la que pertenecen y lugar de trabajo, correo electrónico de uno solo de los autores (con asterisco en el nombre del autor a quién pertenece), al menos 3 palabras claves en castellano y en inglés. La segunda página incluirá un resumen o referencia del trabajo con un máximo de 250 palabras. El texto del trabajo comenzará en la tercera página y finalizará con la bibliografía y las leyendas de las figuras.

La extensión de los artículos que traten temas básicos no excederá las 10.000 palabras, (incluyendo título, autores, resumen, bibliografía y leyendas). Otros artículos relacionados con actividades científicas, bibliografías, historia de la ciencia, crónicas de actualidad, etc. no deberán excederse de 6.000 palabras.

El material gráfico se presentará como: a) figuras (dibujos e imágenes) y se numerarán correlativamente (Ej. Figura 1) y b) tablas numeradas correlativamente independientemente de las figuras (Ej. Tabla 1).

Las ilustraciones de no ser originales deberán citarse sus orígenes en la leyenda correspondiente (cita bibliográfica o de página web). En el texto del trabajo se indicará el lugar donde el autor ubica cada figura y cada tabla (poniendo en la parte media de un renglón Figura 1 o Tabla 1, en negrita y tamaño de letra 14). Las figuras preparadas con computadora deberán ser de alta calidad. El autor debe tener en cuenta que las figuras sólo serán publicadas en color en la versión *on line* en tanto que en la versión *impresa* lo será en blanco y negro.

La lista de trabajos citados en el texto o lecturas recomendadas, deberá ordenársela alfabéticamente de acuerdo con el apellido del primer autor, seguido por la iniciales de los nombres, título completo de la misma, título completo de la revista o libro donde fue publicado, volumen, página y año de publicación.

Los trabajos (texto e ilustraciones) serán remitidos en forma electrónica a la dirección cparica@unsam.edu.ar y deberá incluir una carta dirigida al Director del Comité Editorial de la revista Ciencia e Investigación solicitando su posible publicación.

Todos los artículos serán arbitrados. Una vez aprobado para su publicación, la versión corregida (con las críticas y sugerencias de los árbitros) debe ser nuevamente enviada por los autores.

¡¡Oferta!!
Pipetas y
Artículos
Plásticos

bastante publicidad



ThermoForma

ThermoLabsystems



Nikon



ThermoSorvall



ThermoSorvall



Para encontrar todas las soluciones
en instrumental, no hace falta investigar.

 **microlat**
instrumental científico

Carlos Pellegrini 755 - Piso 9 - Ciudad Autónoma de Buenos Aires - Tel./Fax: 4326 5205 - 4322 6341 - www.microlat.com.ar



Thermo

TMC



FOTODYNE

conviron

HITACHI

TELEDYNE ISCO
A Teledyne Technologies Company



Molecular Devices



Biodynamics

- Reactivos para Biología Molecular
- Instrumentos para Laboratorio
- Tips, Microtubos y Micropipetas
- Cultivo de Células

Biodynamics S.R.L. - Av. de Mayo 1370 Piso 15 (Torre)
C1085ABQ Buenos Aires - ☎(11) 4383-3000
info@biodynamics.com.ar - www.biodynamics.com.ar



UNSAM

UNIVERSIDAD
NACIONAL DE
SAN MARTÍN

ESCUELA DE POSGRADO

DOCTORADOS, MAESTRÍAS Y ESPECIALIZACIONES en temas de:

- Química
- Medioambiente y Desarrollo Sustentable
- Microbiología
- Toxicología
- Educación
- Derechos Humanos
- Familia
- Cooperación Internacional
- Derecho
- Medicina Legal

CURSOS DE FORMACIÓN CONTINUA, PRESENCIALES Y A DISTANCIA.
SÓLIDA EXPERIENCIA EN INVESTIGACIÓN, TECNOLOGÍA Y TRANSFERENCIA DE CONOCIMIENTO.

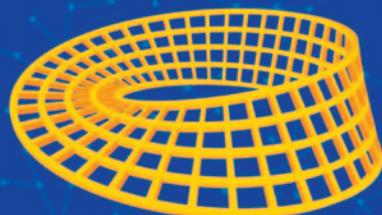
MÁS INFORMACIÓN:

ESCUELA DE POSGRADO

Teléfonos: 4372-3990 / 4580-7264 / 7300

E-mail: posgrado@unsam.edu.ar

www.posgrado.unsam.edu.ar



INNOVAR
CONCURSO NACIONAL
DE INNOVACIONES

GANADORES DEL CONCURSO INNOVAR 2007

Los miembros del jurado, organizadores, y auspiciantes felicitan a los autores de los proyectos ganadores del Concurso Nacional de Innovaciones organizado por la Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación.

Diseño Industrial

Reel innovador para pesca con mosca
Ignacio Ordóñez
Sillón mecedor de múltiples movimientos
Diego Battista
Herramientas para el cultivo de echalotte
Cristian Hernán García
Silla de ruedas para traslado interno
Guillermo Andrés Xarrier
Producto Innovador
Pangea
Roberto Nicolás Novoa
Barrera Stop O2
Luis Manuel Arzondo
Nueva pintura bactericida

Carlos Alberto Moina
Telémetro cardíaco WIFI ECG - WF 400
Carlos Rubén Piñeiro
Investigación Aplicada
Equipo láser medición suciedad
Gabriel Bilmes y Oscar Martínez
Konabot - Robot de inspección
Juan Miguel Santos
Micro válvula inteligente para glaucoma
Fabio Ariel Guarnieri
Producto para prevención de infecciones
María Elena Fátima Nader
Innovaciones en el Agro
Salicornia: agricultura con agua de mar
Oscar Alberto Bianciotto

Sembradora electroneumática
Antonio Romano Moszoro
Microplanta productora de biodiesel
Anibal Nasralla
Fertilizadora dosis variable
Gastón Sosa
Escuelas técnicas y agrotecnicas
"Milena"
Escuela N° 4-114 "Manuel Belgrano"
Router 3D
Instituto 13 de Julio

Premio Principal
Equipo láser medición suciedad
Gabriel Bilmes y Oscar Martínez

Jurado: Juan Fonzi, Javier Gómez, Hugo Kogan, Ronald Shakespear y Oscar Spinelli

WWW.INNOVAR.GOV.AR



PRESIDENCIA DE LA NACION



PROTEOME LAB



CELL LAB



GENOME LAB

Representante Exclusivo

BIOESANCO



**BECKMAN
COULTER INC.**

CONFIANZA. EL CALIFICATIVO QUE NOS UNE



CENTRIFUGACION

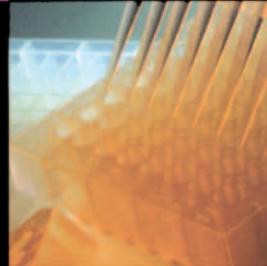
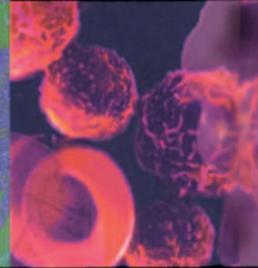
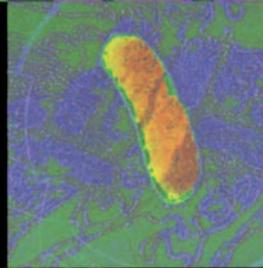
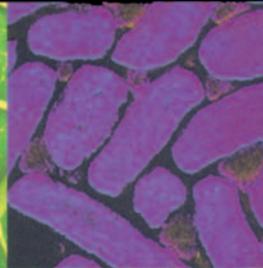
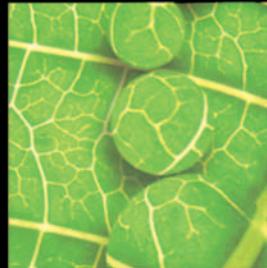
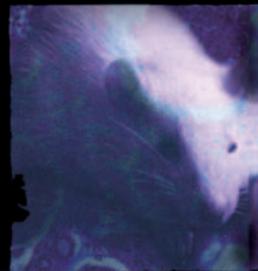
BIOESANCO
Un Equipo con Capacidad de Respuesta

Tacuari 615 - C1071AAM - Cdad. de Bs. As. - Argentina - Te.: 54(011) 5237-1111 - Fax: 54(011) 5236-6638
info@biosanco.com.ar / www.biosanco.com.ar

sepiapub@fibertel.com.ar

KITS PARA PURIFICACIÓN de Ácidos Nucleicos

AxyPrep™
Plasmid
Multisource Genomic DNA
Blood Genomic DNA
Body Fluid Viral DNA/RNA
Bacterial Genomic DNA
Multisource RNA
Blood RNA
Cultured Cell RNA
PCR Clean-up
DNA Gel Extraction



CIENCIA Y EXCELENCIA



ETC Internacional S.A.
Tel (54 11) 4639 3488 (rotativas)
etcventa@etcint.com.ar
etcinfo@etcint.com.ar
www.etcint.com.ar



B I O S C I E N C I E S