

\$40-

AVANCE Y PERSPECTIVA

órgano de difusión del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional

núm. 38 abril-junio 1989

México ISSN 0185-1411

Distribución gratuita

Evolución hoy

Semblanza de Pedro Joseph-Nathan

El Consejo Consultivo de Ciencias



Centro de Investigación y de Estudios Avanzados
IPN

El Departamento de Química

invita a los egresados de las licenciaturas en Química, Ingeniería Química, farmacobiología y ramas afines a cursar:

Maestría y Doctorado
en
Química Orgánica
o
Fisicoquímica

Exámenes de admisión

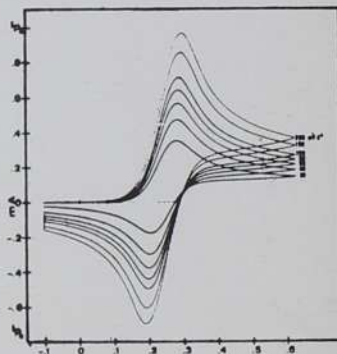
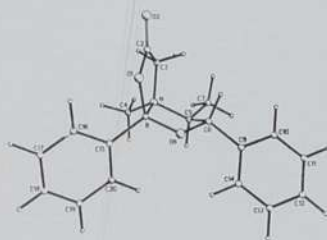
Química general,
24 de julio de 1989

Química orgánica
26 de julio de 1989

Fisicoquímica
28 de julio de 1989

Matemáticas
31 de julio de 1989

Inicio de programa
4 de septiembre de 1989



Para mayores informes, dirigirse al Dr. Norberto Farfán G., coordinador académico del Departamento de Química, CINVESTAV, Ave. IPN 2508, esq. Cza. Ticomán. Apdo. Postal 14-740 C.P. 07000, México, DF. Tel.: 754-02-00 ext. 184.

Centro de Investigación
y de Estudios Avanzados
del IPN
CINVESTAV

Director: Héctor O. Nava Jaimes
Secretario Académico: Enrique Campesino Romeo
Editor: Miguel Ángel Pérez Angón
Editor Asistente: Carlos Chimal

Consejo Editorial

Marcelino Cerviño,
Departamento de Fisiología, Biofísica
y Neurociencias
Rosalinda Contreras,
Departamento de Química
Maria de Ibarrola,
Departamento de Investigaciones
Educativas
Juan Manuel Ibarra,
Departamento de Ingeniería Eléctrica
Rubén López Revilla,
Departamento de Biología Celular
Enrique Ramírez de Arellano,
Departamento de Matemáticas

Fotografía: Agustín Estrada y Pedro Hiriart
Negativos: Ricardo Avila, Jaime Ríos y Adrián Ríos

Avance y Perspectiva, órgano de difusión del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN, CINVESTAV, es una publicación trimestral editada por la Secretaría Académica del CINVESTAV. El número 38, volumen 8, se terminó de imprimir en julio de 1989. El tiraje consta de 5,000 ejemplares. **Editor Responsable:** Miguel Ángel Pérez Angón. Oficinas: Ave. IPN No. 2508, Esq. Ticomán. Apdo. Postal 14-740, 07000 México, D.F. Certificados de licitud de título No. 1728 y de contenido No. 1001 otorgados por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Reserva de título No. 705-82 otorgada por la Dirección General del Derecho de Autor de la Secretaría de Educación Pública. Publicación periódica: Registro no. 016 0389, características 220221122, otorgado por el Servicio Postal Mexicano. **Impresión y encuadernación:** CIDESI (Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial) Fracc. Habitacional Sn. Pablos, s.n., Querétaro, Qro. **Avance y Perspectiva** publica artículos de divulgación y notas sobre avances científicos y tecnológicos escritos por miembros de la comunidad del CINVESTAV. Los artículos firmados son responsabilidad de los autores. Las instrucciones para los autores que deseen enviar contribuciones para su publicación aparecen en el primer número de cada volumen (enero-marzo). Se autoriza la reproducción parcial o total del material publicado en **Avance y Perspectiva**, siempre y cuando se cite la fuente.

Sumario

Evolución hoy

Presentación de Martha Susana Fernández 3

Biofísica de la evolución

Marcelino Cerviño 7

Evolución de los sistemas bioenergéticos

Carlos Gómez Lojero 13

El genoma: ¿unidad de selección evolutiva?

Ma. del Carmen Gómez Eichelmann 21

Perfiles de Investigación

Semblanza de Pedro Joseph-Nathan

Rosalinda Contreras 29

Perspectivas

El Consejo Consultivo de Ciencias

Adolfo Martínez Palomo 35

Los criterios de evaluación del Cinvestav en relación con los departamento de ingeniería

Juan Luis del Valle Padilla 37

Documentos

La crisis económica del país: El futuro del Cinvestav y del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología

E. Frixione, R. López Revilla, A. Escobosa, J. Mimila, L. A. Torres, J. L. Reyes, C. Falcony, O. Rojas y D. Muñoz 40

Un joven científico de grandes pasiones

Rosalinda Contreras 43

Noticias del Centro 45

Libros

Rosalind Franklin y el DNA

Alicia García Bergua 53

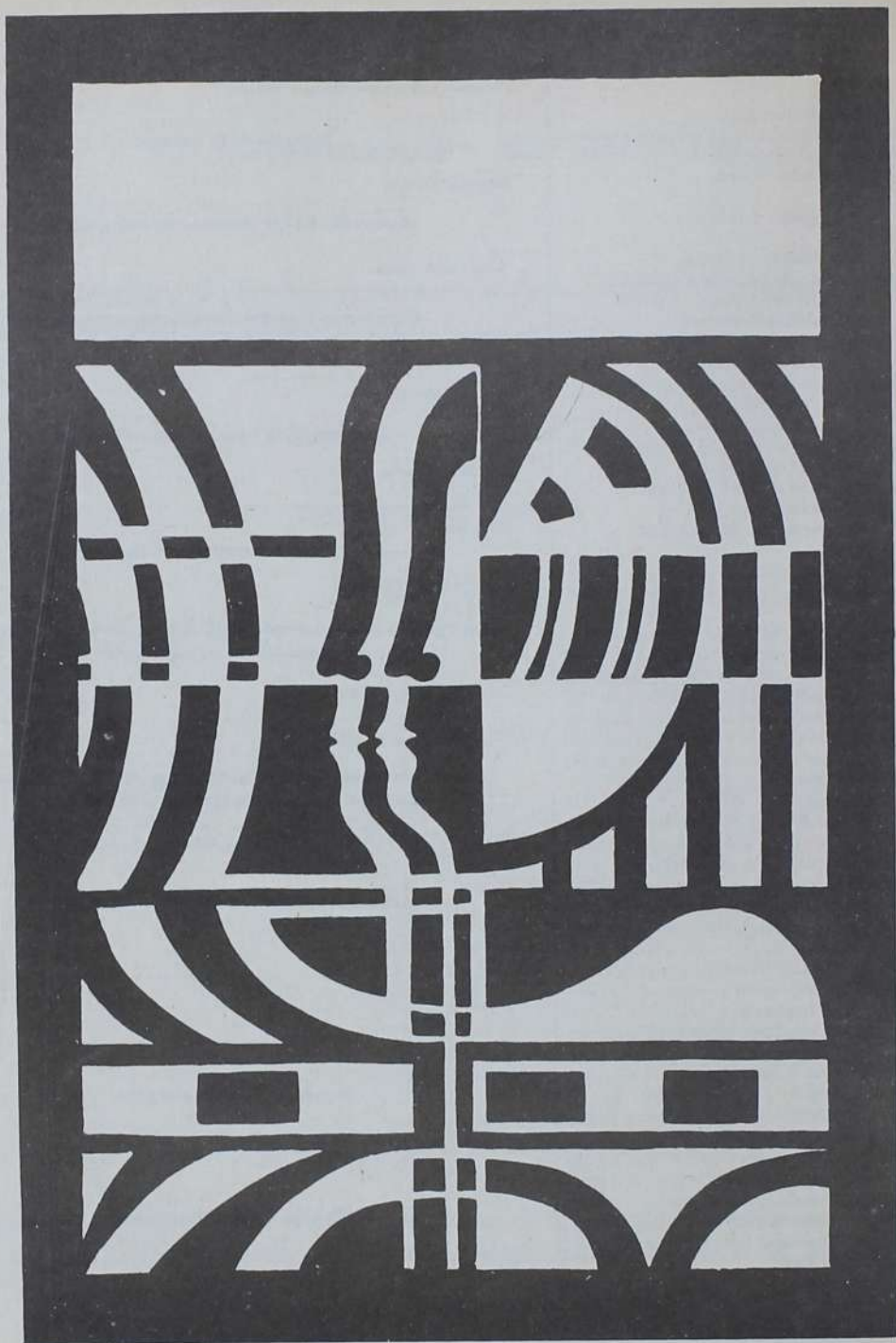
Espacio abierto

Charles Darwin: Un elogio

Stephen Jay Gould 58

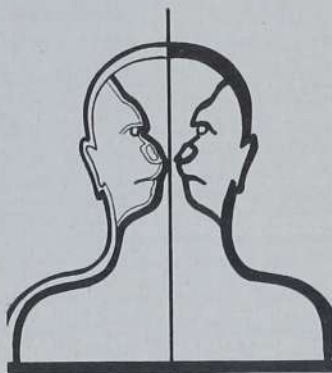
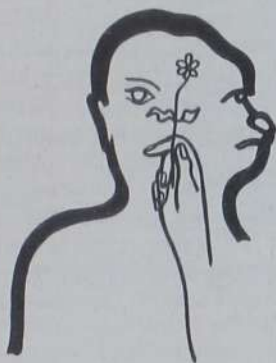
Portada

Acuarela de Mabel Blanca Fernández



Evolución hoy

El Coloquio Informal "Evolución Hoy" tuvo lugar el 22 de noviembre de 1988 en el Departamento de Bioquímica del CINVESTAV. Los temas que se trataron fueron: "Biofísica de la evolución", por Marcelino Cerejido; "Evolución de los Sistemas Bioenergéticos", por Carlos Gómez Lojero y "El Genoma, ¿Unidad de Selección Evolutiva?" por Carmen Gómez Eichelmann. En este número de Avance y Perspectiva aparecen los textos correspondientes a esas ponencias, con una presentación preparada por Marta Susana Fernández, quien organizó y moderó el coloquio.



Ilustraciones de Mabel Blanca Fernández

Marta Susana Fernández

En su *Curso de Lingüística General*, Ferdinand de Saussure afirma que todas las ciencias debieran preocuparse por señalar más claramente sobre qué ejes se sitúan sus objetos de estudio: si sobre un eje de simultaneidades o sobre un eje de sucesiones. Este problema de la sincronía y la diacronía fue introducido de manera genial en la biología por Charles Darwin.

Manfred Eigen cita la opinión del fundador de la mecánica estadística, Ludwig Boltzmann, en el sen-

tido de que el siglo XIX debería ser llamado no el siglo del hierro, o del vapor o de la electricidad, sino el siglo de Darwin, el siglo de la comprensión mecanicista de la naturaleza.

Aún hoy, la obra de Darwin ofrece una percepción de los principios que rigen la evolución que continúa vigente. Pero ¿qué es lo que nos ha legado Darwin al enunciar el principio de la selección natural? Para Eigen se trata de una ley, derivable de premisas físicas, como puede serlo la ley de acción de las masas que describe el equilibrio de un sistema químico. Partiendo de este supuesto y usando premisas puramente físicas aplicadas a un sistema autocatalítico formado por una cadena cerrada de reacciones químicas consecutivas, Eigen deriva ecuaciones matemáticas interpretables como "hiperciclos", para los que puede predecir eventos de selección y optimización en función de las condiciones de contorno.

Marta Susana Fernández Pacheco es doctora en bioquímica de la Universidad de Buenos Aires. Su tema de investigación es la fisicoquímica de membranas. Actualmente es profesor titular y jefe del Departamento de Bioquímica del CINVESTAV.

Del modelo anterior no se puede concluir que las características anatómicas y/o fisiológicas de los organismos existentes en un modelo dado, correspondan también a óptimos absolutos. Según Delbrück, lo que un análisis sincrónico puede hacer parecer como óptimo, un análisis diacrónico, al tomar en cuenta las sucesiones históricas de organismos, puede revelar que no necesariamente siempre habrá sido o seguirá siendo así. La "estrategia evolutiva" parece incluir un principio de oportunismo de manera que para satisfacer un requerimiento esencial, se utiliza aquel metabolito o aquel proceso que está disponible. Pero que sea más accesible no significa que sea el mejor. Parece darse también un principio conservador que implica mantener aquello que previamente ha sido útil y usarlo para dar solución a situaciones nuevas, en lugar de que se genere una respuesta adaptativa original ante cada diferente reto ambiental. El principio de la selección natural operaría como una ley probabilística. No se podría predecir qué cambio va a sufrir un organismo, en cuál individuo en particular va a ocurrir la mutación más ventajosa, pero sí se podrá prever que a la larga sobrevivirá la población que mejor se adapte a sus circunstancias. Esto se ha comparado a lo que ocurre con la mecánica estadística que, aun cuando no puede describir "a priori" el comportamiento de una molécula específica de un gas, sí puede predecir que al cabo de un tiempo y en determinadas condiciones, tal proporción de moléculas tendrá cierta velocidad o sufrirá cierto número de colisiones.

El libro de Darwin, *El origen de las especies por selección natural*, aparecido en 1859, fue recibido de manera ambivalente. Hubo fuerte oposición de grupos para los que las propuestas de Darwin resultaban incompatibles con sus ideas filosóficas o religiosas. Este tipo de oposición ha perdurado hasta nuestro siglo. No olvidemos que en la década del setenta hubo presentaciones en las cortes de California por parte de fundamentalistas que exigían igual tiempo para la enseñanza de la teoría de la evolución y del creacionismo en las clases de ciencia de las escuelas públicas. Ante tal demanda, fue necesaria una intensa labor de esclarecimiento por parte de diversos investigadores que trataron de explicar al público cuáles son los métodos de la ciencia. Una teoría científica está sujeta a comprobación y refutación. Una ideología religiosa, que cada individuo es libre de aceptar o no, se rige por una cuestión de fe o creencia que está más allá de los hallazgos paleontológicos o de los experimentos de

laboratorio. Por lo tanto, en una clase de ciencia sólo pueden tener cabida aquellas teorías que se plantean obedeciendo los requisitos del método científico.

Teorías no científicas sobre el origen de los seres vivos en general, y de la especie humana en particular, hay muchas. Las religiones y la literatura de casi cualquier cultura, contienen relatos tipo "Génesis" sobre los orígenes. Es interesante que en el Popol Vuh, el libro sagrado de los Maya-Quiché, se describe una creación de tipo "evolucionista" en que los hombres son fabricados de diversos materiales, en sucesivos ensayos hasta llegar a la pasta de maíz que resulta ser la sustancia más apropiada. En distintos intentos fallidos habían sido hechos primero de barro, luego de madera. Pero los muñecos de madera no se movían, no tenían emociones. Por eso fueron condenados a la destrucción y abandonados en los bosques. De esos hombres de madera abandonados, después de un diluvio, surgieron los monos que hoy pueblan las selvas. ¿Evolución-Involución? ¿Habrá un principio antrópico implícito al plantear esta pregunta? ¿al considerar involución el que de pronto la flecha de la complejidad que suponemos apunta hacia los humanos, pudiera cambiar de sentido ante un reto ambiental o por una modificación intrínseca del proceso de replicación?

En un ensayo literario sobre la dinastía de los Huxley, Jorge Luis Borges pone ese tema en boca de Thomas, miembro destacado de esa familia de intelectuales británicos y "compañero de batalla de Darwin" que en su época "dedicó buena parte de su vigor y aun de su descortesía a divulgar el parentesco del universitario de Oxford con ... el orangután de Borneo". Según Borges, Huxley creía en una declinación después del ascenso, en una regresión del proceso evolutivo que no tardaría menos tiempo que la etapa creadora. "Siglos de siglos tardará una frente en deprimirse un poco, en proyectarse más bestial un perfil". Viene a cuento citar aquí los resultados de un juego evolutivo diseñado por Eigen y Schuster para ejemplificar el significado físico de "umbral de error" en sus modelos de autoorganización, los hiperciclos. El objetivo del juego es crear una frase con significado a partir de una secuencia de letras al azar. Una computadora es programada para almacenar las secuencias y eliminarlas de su memoria después de un cierto tiempo (vida media). El programa permite también reproducir, a una determinada velocidad, las



secuencias almacenadas e introducir equivocaciones en las copias de acuerdo con una frecuencia preestablecida. La oración deseada es el patrón de contraste, el "medio ambiente" que determina qué tanta información, qué tanta ventaja evolutiva tiene cada nueva copia. El juego permite calcular cuántas generaciones de copias se necesitan para llegar a la frase con sentido. Y esto, entre otras cosas, depende de la frecuencia de error y de su umbral. Para ciertos valores de umbral y frecuencia de error, una vez alcanzada, la secuencia correcta es estable. Pero si el umbral es sobrepasado, aunque se empiece con una oración casi correcta, en lugar de llegar a una copia libre de equivocaciones, la información se desintegrará paulativamente hacia una mezcla de letras al azar. No es posible abandonar este párrafo de reminiscencias borgianas sin conjeturar que cierta semejanza del modelo descrito con la idea de una biblioteca de Babel, no ha de ser más que una extraña coincidencia.

Delbrück, en su libro *Mind from Matter?*, se pregunta cómo es que la mente, tal vez la expresión más compleja de la evolución biológica, emergió de la materia inerte como resultado de un proceso físico y bromea acerca de que, como en una de las historias

fantásticas e inverosímiles del Barón de Münchhausen, la mente reflexiona y dice: "¡Ajá! así es como yo aparecí", mientras se jala a sí misma por los "cabellos" fuera del lodo. Subyacente en esta ironía está la pregunta de si es posible explicar, con las leyes físicas conocidas, el paso del orden a partir del desorden.

En los textos que siguen, correspondientes al Coloquio *Evolución Hoy*, Marcelino Cereijido aborda la respuesta a este interrogante haciendo referencia a la termodinámica de los sistemas abiertos, los procesos irreversibles, las estructuras disipativas y la teoría de las catástrofes.

La aparición y persistencia de los organismos vivos tiene como condición fundamental el alejamiento del equilibrio. Para lograrlo, se requiere del aporte continuo de energía libre, a través del metabolismo. Carlos Gómez-Lojero nos cuenta cómo se seleccionaron los tres sistemas conocidos de generación biológica de energía.

Para que se dé el fenómeno de evolución, deben existir organismos autorreproducibles cuyo contenido de información se transmita de manera algo imperfecta y esté sujeto al fenómeno de mutación.

Carmen Gómez Eichelmann analiza estos procesos y discute las principales evidencias experimentales que permiten plantear la original propuesta de que el genoma, y no el organismo, podría considerarse como la unidad de selección.

Algunos de los participantes en este Coloquio insistieron en calificarlo como "informal". No porque lo tomaran a la ligera sino para puntualizar que, excepto en un caso, la Evolución no es el leit motiv de sus investigaciones. El interés de los participantes en este tema resulta más bien de una inquietud personal, como investigadores en biología, de poner su trabajo, de pensar en su trabajo, en el marco de la teoría que mejor permite entender el origen y la persistencia de la vida en este planeta. Teoría que, por otro lado, es la única, entre las que maneja la biología, que ha surgido de la biología misma.

Y volviendo a la reflexión de la mente sobre su propio origen a la manera del Barón de Münchhausen, vale la pena citar a Stephen Hawking quien en su *Historia del Tiempo* toca, en otro estilo, un tema similar. Dice Hawking que si pudiéramos llegar a una teoría unificada que abarcara todas las leyes que gobiernan el universo, esa teoría nos comprendería también a nosotros y, posiblemente, determinaría nuestras acciones. En ese caso, ¿por qué debería estar determinado que, a partir de las evidencias disponibles, llegáramos a las conclusiones verdaderas? Tal vez fuera inevitable que llegáramos a conclusiones falsas, o que no pudiéramos sacar ninguna conclusión. Pero el mismo autor reacciona ante este determinismo extremo, y concluye que la única solución al dilema es que se cumpla el principio de la selección natural de Darwin. Dada una población, algunos individuos llegarán a las conclusiones correctas acerca del mundo que nos rodea y actuarán de acuerdo con ellas. Dichos individuos tendrán más posibilidades de sobrevivir, reproducirse e imponer su esquema mental y de conducta. Sin embargo no es seguro que el conocimiento tenga que conferir este tipo de ventaja evolutiva ya que la ciencia mal empleada, podría inclusive llegar a destruirnos. Aun así, Hawking espera que "... las capacidades de razonamiento que la selección natural nos ha dado, sigan siendo válidas en la búsqueda de una teoría unificada completa, y no nos conduzcan a conclusiones erróneas".

Hans Kuhn ha señalado que existe una estrecha analogía entre la evolución de los conceptos en la mente humana y la evolución de los sistemas autoorganizados. Esperemos que el peculiar fenómeno de transmisión y persistencia de la información no genética que se da en la especie humana -la herencia cultural- permita amplificar las perspectivas que plantea Hawking en cuanto a una selección ventajosa de la teoría más correcta acerca del origen y la evolución de los seres vivos.

Bibliografía

- Anónimo (1971) *Popol Vuh* (El libro sagrado de los mayas-quichés) Fondo de Cultura Económica, México
 Borges, J.L. (1986) *Textos Cautivos*, Tusquets, Buenos Aires
 Delbrück, M. (1986) *Mind from Matter?* Blackwell Scientific Publications, California
 Eigen, M. y Schuster, P. (1979) *The Hypercycle. A Principle of Natural Self-Organization*. Springer-Verlag, Berlin
 Eigen, M. (1983) en *Evolution from Molecules to Men* (D.S. Bendall, ed) Cambridge University Press, New York
 Hawking, Stephen (1988) *Historia del Tiempo*. Editorial Crítica-Grijalbo, México
 Kuhn, H. (1976) *Model Considerations for the Origin of Life*, *Naturwissenschaften* 63, 68-80.
 Saussure, F. (1987) *Curso de Lingüística General*. Alianza Editorial, Madrid



M B F R

Biofísica de la evolución

Hace apenas un siglo, las flechas "complejizante" de la evolución y la "caotizante" de la termodinámica parecían ser irreconciliables. ¿Qué queda hoy de aquel conflicto?



Marcelino Cerejido

El quehacer científico está tan interconectado y es tan coherente, que los estudios de un monje checoslovaco pueden ser continuados años después por un biólogo norteamericano y más tarde por un cristalógrafo inglés que no ha conocido personalmente a ninguno de los otros dos. Esa comunicabilidad y sistematización de la ciencia ha llevado a Pascal a compararla con un sólo hombre que aprende continua e indefinidamente, como si todo el conocimiento humano cupiera y fuera el razonar consistente de una única cabeza. Parte de esa sistematización se lleva a cabo, por ejemplo, en los congresos científicos,

cuando los participantes que habían tratado de ensamblar los datos obtenidos en sus laboratorios con lo que ya se conocía, los compaginan con lo que escuchan a sus colegas, y con lo que piensan hacer en cuanto regresen a sus tierras.

Esa sistematización entre colegas de la misma disciplina no suele acarrear mayores problemas. En cambio, cuando se trata de ensamblar el contenido de dos ramas distintas del saber, suelen presentarse dificultades, reyertas y reacomodos durante largo tiempo. Algunas veces este ensamble requiere revisar los fundamentos filosóficos del conocimiento, e incluso se llega a chocar con las mismísimas creencias ancestrales del hombre. Uno de dichos encontronazos tuvo lugar al pretender amalgamar la Física con la Biología, pues mientras los conocimientos de física se usaron para entender la bioluminiscencia, la contrac-

Marcelino Cerejido es médico cirujano y doctor en medicina de la Universidad de Buenos Aires. Actualmente es profesor titular e investigador del Departamento de Fisiología, Biofísica y Neurociencias del CINVESTAV. Su campo de investigación es la biología de membranas de células cultivadas.

ción de las patas de una rana al ser estimuladas eléctricamente, o saber por qué se forman las imágenes visuales, no se presentó mayor problema. Pero en cuanto se trató de aplicarlos a la comprensión de la evolución biológica, entonces sí, ardió Troya. En este artículo nos ocuparemos de algunos pródromos y consecuencias de aquella reyerta, de las dificultades interpretativas que se suscitaron, y del camino que se recorrió hasta llegar a nuestra posición actual.

¿Qué necesidad hubo de postular que la vida evoluciona?

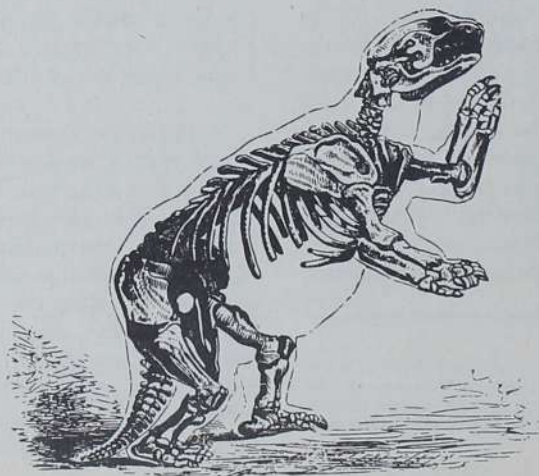
Hasta hace apenas un par de siglos se daba por sentado¹ que la edad de la Tierra era de alrededor de cinco mil años, cifra que se calculaba sumando simplemente la edad de los distintos personajes bíblicos desde Adán y Eva para acá, y agregando la de los post-bíblicos hasta llegar a nuestros días, y que el escenario biológico siempre había sido tal como lo vemos ahora, con los mismos cedros, manzanos, perros, tucanes, hombres, las mismas montañas, los mismos ríos, las mismas islas.² Pero ese esquema habría de desmoronarse ante el peso de las evidencias^{1,2}.

Para empezar, padres de la Geología como James Hutton observarían que el depósito de sedimentos en los océanos no es un proceso terminado, sino que aún continúa y da origen a capas superpuestas, semejantes a las de los mantos terrestres, que para entonces ya se conocían con bastante aproximación.

Pero el proceso es tan lento, que cuando se trataba de explicar la formación de esos gruesos mantos como resultado de dichos depósitos, se debía recurrir a edades larguísimas, de millones y millones de años, cifras que, claro está, excedían los cinco mil años computados a partir del Génesis bíblico.

Al hacer pozos para buscar agua u horadar una mina, se encontraban huesos y esqueletos enteros de bichos de toda laya, que correspondían a caballos, vacas, cocodrilos y hombres similares a los que aún se veían caminando sobre la Tierra. Pero, curiosamente, no se los encontraba en los mantos más profundos. Además, los huesos y esqueletos que se encontraban en esos mantos profundos --y de acuerdo con los geólogos más viejos y primitivos-- no correspondían para nada a los de caballos, vacas, cocodrilos y hombres actuales. De aceptarse la cronología que indicaban los mantos, esos animales pertenecían a especies que habían existido y se habían extinguido en épocas remotas, mucho antes de que aparecieran las que ahora pueblan el planeta. No resultó muy difícil relacionar las especies extinguidas con las actuales y comenzar a establecer genealogías: tal bicho actual desciende de tal bicho extinguido.

Pero entonces, como sucede con las genealogías en las que dos personas descubren ser bisnietas de un mismo señor ¡ay! las raíces de dos especies comenzaban a hundirse en el pasado hasta emanar de algún antecesor común, y luego, cuando se investigaba el pasado de estas especies antece-



soras, se encontraba que ellas también convergen hacia alguna otra en un pasado más remoto aún. Pronto se generó el concepto de que las especies actuales descienden, a través de muchas generaciones, de algún grupo antiquísimo y pequeño de antecesores comunes, y que durante esta larga sucesión desde ellos hasta nuestros días fueron cambiando, evolucionando. Más aún: a medida que eran más viejos o primitivos, estos antecesores eran estructuralmente menos complejos, como si la evolución hubiera consistido en una complejización progresiva.

Esta forma de ver las cosas chocaba, por supuesto, con las enseñanzas del Génesis bíblico, tanto por su cronología (era muchísimo más larga) como por la forma en que se daba cuenta del origen de las especies (las berenjenas, apios, caballos, vacas y hombres no habían sido creados de entrada como tales). Pero, a decir verdad, no vemos de qué manera estas observaciones pudieran haber suscitado un conflicto entre la Física y la Biología. Sin embargo, veamos...

De cómo los físicos le dieron un portazo en la nariz a los biólogos

Una cosa es postular que las distintas especies evolucionaron y se fueron haciendo más complejas, y otra muy distinta imaginar un mecanismo para dar cuenta de dicha evolución. Los biólogos se dieron entonces a la tarea de encontrar mecanismos. Independientemente de cuáles se propusieron (por ejemplo Darwin postuló la selección natural), estos mecanismos tenían una característica común: desechaban la participación divina, es decir, no aceptaban ningún proceso que no pudiera explicarse en principio sobre bases puramente físicas, aunque por ese entonces se tratara de procesos y mecanismos poco menos que quiméricos.

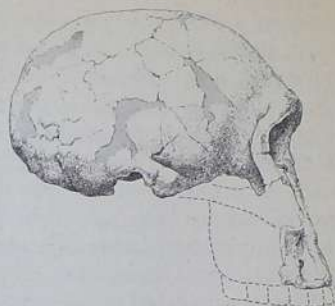
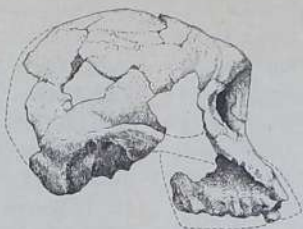
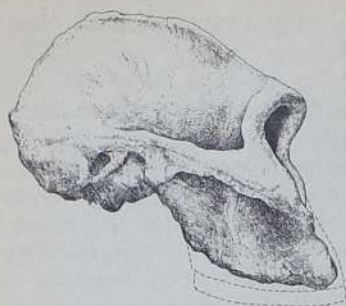
Sucede que, en esos precisos momentos, los físicos estaban ocupados a su vez en desarrollar la Termodinámica, una ciencia que en el fondo es hija del maquinismo. La Revolución Industrial implicó el uso de maquinarias cada vez más complejas para reemplazar al esfuerzo muscular humano, y la Termodinámica se creó para dar cuenta de la eficiencia de esas máquinas en la transformación de un tipo de trabajo en otro: una caldera que hace dar vueltas a una rueda, que mueve una polea, que opera una

palanca, que impulsa un telar. No tardó en advertirse que esos conceptos, generados originalmente para entender a las máquinas creadas por el ser humano, permiten entender también los trabajos que realiza la Naturaleza. En una palabra, se cayó en la cuenta de que los principios de la Termodinámica no sólo son obedecidos por calderas, tornos, poleas y telares, sino además por ríos, vientos, reacciones químicas y fenómenos eléctricos. Resultó claro que si los procesos biológicos habrían de explicarse sobre bases físicas, deberían cumplir con los principios de la Termodinámica³.

Llegamos así al meollo del encontronazo entre la Biología y la Física, puesto que mientras la primera pretendía explicar la complejización biológica sobre bases físicas (de huevo fecundado a elefante y de primitivos organismos unicelulares al hombre), la Termodinámica enseñaba que los procesos espontáneos tienden a desorganizar, a arruinar, a caotizar a los sistemas aislados. Por así decirlo, la flecha evolutiva y la flecha Termodinámica apuntaban en direcciones diametralmente opuestas. Una idea del divorcio entre Física y Biología la da el hecho de que el famoso Lord Kelvin redujo el área de aplicación de la Termodinámica a "entidades inanimadas", restringiendo así a los sistemas biológicos al reino de las "ánimas"^{2,4}.

La culpa fue de los biólogos

Cada vez que se estudia un sistema, primero se le observa en reposo, y entonces se está en condiciones de analizar sus cambios, porque la dinámica implica por lo menos una variable más, el tiempo. Por eso los biólogos primero trataron de comprender la vida utilizando enfoques que habían sido desarrollados para entender sistemas en equilibrio. Peor aún, supusieron que un organismo puede considerarse, aunque sea momentáneamente, como un sistema aislado, es decir, que no intercambia ni materia ni energía con su medio. La palabra "equilibrio" deriva del latín (*aequa libra*), y designa una situación en la que no ocurre ningún proceso neto. No se puede suponer entonces que una paloma que vuela, una lagartija que camina, un corazón que late o un intestino que digiere, sean sistemas en equilibrio. Por otra parte, el ordenamiento espontáneo en un sistema aislado y en equilibrio es tan improbable, que la aparición de la bacteria más



simple resulta impensable, amén de lo disparatado que resultaría suponer que una fluctuación en un huevo fecundado pudiera provocar la fabricación y conexión adecuada de los millones y millones de neuronas que componen un cerebro de mamífero. La Biología continuaba atrapada pues en el mundo de lo "animado".

Luego, los biólogos fueron abandonando los enfoques de equilibrio por los de *estado estacionario*. Si bajando cómodamente por una escalera mecánica nos encontramos con un amigo que sube por una escalera común, fija, y queremos quedarnos conversando con él a media escalera, a nuestro amigo le bastará con detenerse "en equilibrio", mientras que nosotros tendremos que saltar de escalón en escalón para mantenernos detenidos "en estado estacionario". Análogamente, para mantener su sodio, azúcar, proteínas, huesos, riñones, ojos y nariz, nuestro organismo debe realizar un elaboradísimo trabajo de gasto y reposición. Los enfoques de estado estacionario resultan mucho más satisfactorios pero, aún así, no permiten entender que un huevo fecundado pueda sufrir una serie increíble de complejizaciones espontáneas y convertirse en embrión, feto, niño, adolescente y adulto, o que un organismo unicelular de hace millones y millones de años pudiera haber evolucionado hasta producir ballenas y jirafas.

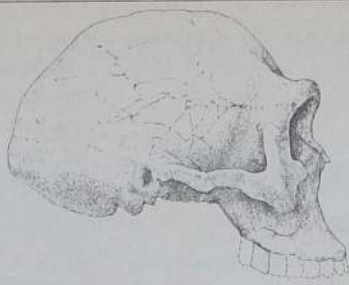
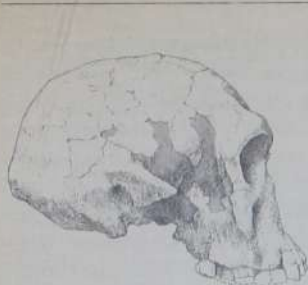
De cómo una peculiaridad epistemológica del ser humano iría allanando las dificultades

Dijimos antes que esa mente única con la que Pascal asemeja a la ciencia, se esfuerza continuamente por comparar y sistematizar el saber que van obteniendo las distintas disciplinas. Pero ¿qué hace cuando no

puede, es decir, cuando los distintos paquetes de conocimiento discrepan y parecen desafiar cualquier intento normalizador, cualquier esfuerzo por sistematizarlos? Nada, las distintas disciplinas simplemente siguen estudiando esos campos disímiles como si no hubiera conflicto alguno. Así, de pronto los alquimistas se convierten en químicos y desarrollan sus propios cúmulos de información, de procedimientos y de leyes. De manera similar, lingüistas, entomólogos, psicoanalistas, historiadores y economistas siguen trabajando en sus disciplinas con la única exigencia de que haya coherencia interna. No les preocupa tanto --por el momento-- la discordia que pueda haber con el resto del saber científico, como de que se aclaren los conflictos dentro de sus propios terrenos. Para regresar a lo que atañe a nuestra discusión: los investigadores siguieron estudiando la Bioquímica, la Fisiología, la Biología Celular, la Paleontología y la Psicología como si no hubiera conflicto con la Física, y sin temor de que se desmembraran las ramas del "árbol del conocimiento".

Cuando estudiamos la aplicación de una ley causal, por ejemplo la de Ohm, a un sistema real y relacionamos un flujo (en este caso la corriente de electrones) con una fuerza (en este caso la generada por la diferencia del potencial eléctrico), observamos una molesta no-linealidad: a mayor diferencia de potencial fluyen más electrones, pero... la conducta se va desviando. Podemos ver no-linealidades análogas cuando trabajamos con el flujo de glucosa (la fuerza aquí emana de la diferencia de concentración entre dos puntos), el flujo de calor (debido a la diferencia de temperatura) o la marcha de una reacción química (aquí la fuerza se origina en las afinidades).

Por regla general, esas no-linealidades se pueden ignorar cuando las fuerzas (alejamientos del equilibrio) son pequeñas, pero no cuando los des-



La elegante señora de Neanderthal, Mabel Blanca Fernández

equilibrios son grandes. Más aún, cuando el alejamiento del equilibrio es muy grande, ni siquiera estamos seguros de que se va a seguir cumpliendo la ley en cuestión. Peor aún, si el alejamiento es en realidad grande tememos no ya por el cumplimiento de la ley, sino por la misma integridad de nuestro sistema (por ejemplo, si aplicamos diez mil voltios a través del circuito de nuestra computadora, seguramente vamos a freir hasta el último chip). De modo que, en la práctica diaria, esto se resuelve manteniéndose cerca de los equilibrios o, lo que no es más que otra manera de hablar: trabajando lejos de los desequilibrios extremos donde los sistemas sufren crisis funcionales y colapsos estructurales.

Pero hubo algunos científicos que trataron de ver qué sucede al fin y al cabo cuando los sistemas se alejan "demasiado" del equilibrio y sufren crisis y colapsos.

La vida al borde de las crisis

Aquí necesitamos referirnos sin mayor justificación a algunas circunstancias que se entretijieron hasta llevar a la situación actual:

1) Allá por 1944, Erwin Schrödinger⁸ señaló que los sistemas biológicos son sistemas abiertos (intercambian con su medio materia y energía) y que, por lo tanto, cuando se hace un balance energético o entrópico hay que tener en cuenta al medio; algo así como cuando al considerar el dinero que alguien ganó en una sala de juego, se debe tener en cuenta que esa suma no surgió de la nada, sino que la ha(n) de haber perdido otro(s) jugador(es). Así planteadas las cosas, Schrödinger demostró que un sistema biológico (una bacteria, un bebé, toda la biósfera) puede alcanzar un enorme grado de organización o nivel de energía,

siempre y cuando el medio pierda una cantidad tal que lo compense.

2) Hacia el final de los años sesenta, Harold Morowitz⁵ demostró que el flujo de energía (por ejemplo cuando la energía de la luz solar fluye Sol→biósfera→espacio exterior) crea por lo menos un ciclo material en el sistema intermedio (en este caso la biósfera). Un ejemplo de este fenómeno lo tenemos en el hecho de que la energía solar evapora el agua del mar y forma nubes, y que luego la disipación de energía hacia el espacio exterior hace que nieve y llueva, se formen ríos, y el agua regrese de nuevo al mar. Otro ejemplo más pertinente para el tema que estamos discutiendo es que los rayos solares también fuerzan a las moléculas a reaccionar, combinarse, formar compuestos que se combinan entre sí, que se vuelven a desintegrar y a recombinarse, alcanzando así una complejidad química enorme. Morowitz demostró también que el sistema interpuesto en el flujo (en estos casos la biósfera) es desequilibrado con respecto a la situación que tendría de no fluir energía a través del mismo, y forzado inescapablemente a alcanzar una organización considerable.

3) Los físicos (sobre todo los hidrodinamistas), los químicos y los matemáticos advirtieron que, cuando un sistema es alejado de su equilibrio (en los casos que acabamos de ver el agente desequilibrante es el flujo de energía a través del sistema) entra en crisis y sufre un colapso, puede estructurarse y adquirir un ordenamiento peculiar, típico de su composición y de las condiciones a que fue sometido. Y esto no sucede erráticamente, sino que ocurre con probabilidad "1", es decir, se trata de una ley causal (nueva, no la que se venía cumpliendo antes de la crisis). De pronto, algo que era casi infinitamente improbable cerca del equilibrio, se manifiesta con toda regularidad (como el nublarse o el fluir de los ríos). La crisis no es pues el

umbral del caos, sino el nacimiento de una estructura nueva. Más aún, al decir de Ilya Prigogine^{6,7}, toda estructura nueva tiene su origen en una crisis.

4) Los sistemas químicos son muy no-lineales y se desequilibran y entran en crisis en cuanto se los aleja de sus equilibrios.

5) Los sistemas biológicos son fundamentalmente sistemas químicos.

6) Los sistemas biológicos parecen especialmente diseñados para vivir al borde de las crisis: además de sus no-linealidades a nivel químico, la cosquilla de una pluma en la nariz ocasiona un estornudo con un bochinche de trabajo muy superior a la pequeña energía que aportaron las cosquillas, y una inyección de hormona tiroidea le hace perder la cola a un ajolote.

7) La historia de un organismo--de huevo fecundado a embrión, a feto, niño, adulto, etc--es una historia de crisis y cambios estructurales y fisiológicos.

Y entonces ¿qué?

Habíamos señalado al comienzo de esta discusión, que al intentar explicar la vida sobre bases físicas, se topaba con una aparente paradoja: mientras que el mundo físico parece tender al colapso de las estructuras y al caos, el mundo biológico muestra una increíble capacidad integrativa para producir organismos con patas, ojos y cerebros, y arranca de especies primitivas y simples, hasta originar otras tan complejas como las mariposas y los monos. El llegar a demostrar que no hay contradicción alguna y lograr una compaginación del mundo de la Física con el de la Biología llevó mucho tiempo y costó mucho esfuerzo. En el curso de dichas demostraciones por ejemplo, los químicos fueron encontrando reacciones que, alejadas de sus equilibrios, se organizan en estructuras rarísimas (ver por ejemplo Zhabotinski⁹), con conductas espaciales (por ejemplo, aparecen anillos y espirales), o temporales (por ejemplo, la concentración de una sustancia no alcanza un valor constante, sino que va oscilando regularmente entre un máximo y un mínimo).

Hay un dicho en yidish que aconseja: "no le muestres a un idiota algo a medio hacer". Este dicho resulta aquí pertinente, pues muchos biólogos tomaron los teoremas y reacciones químicas que acabamos de mencionar, y que constituyeron pasos cruciales hacia una comprensión de la evolución sobre bases científicas, como modelos de "reacciones prebióticas" o "bichos ancestrales". Tampoco supieron apreciar que las demostraciones de Schrödinger no fueran en realidad aportes fundamentales en la marcha hacia la coherencia científica (la del hombre de Pascal). Pero, por lo general, los que así reaccionan no son verdaderos científicos, sino "midecosas", gente que ni se enteró de que de no haber mediado el trabajo de tantos matemáticos, físicos, termodinamistas, químicos y biólogos nuestro conocimiento de la vida en el planeta no se hubiera despegado de la oscura bruma mística que lo rodeaba hace apenas un siglo, cuando se suponía que los organismos eran "animados".

En resumen: la evolución no ha sido completamente explicada, ni en términos biológicos ni físicos. Pero por lo menos hoy no hay paradojas ni re-
yertas conceptuales. En la actualidad, la biofísica atestigua justamente que biología y física colaboran para que el hombre de Pascal tenga su cabeza en orden.

REFERENCIAS

- 1) Blanck-Cerejido, F. (comp.) *Del Tiempo: Cronos, Freud, Einstein y los genes*. Folios Ediciones, México, 1983.
- 2) Blanck-Cerejido, F. y Cerejido, M. *La Vida, el Tiempo, y la Muerte*. Fondo de Cultura Económica, México, 1988.
- 3) Cerejido, M. *Orden, Equilibrio y Desequilibrio*. Nueva Imagen, México, 1978.
- 4) Cerejido, M. Enfoques Termodinámicos de la Biología, en *Segundo Coloquio de Matemáticas*, Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Oaxtepec, México, 1981.
- 5) Morowitz, H. *Energy Flow in Biology: Organization as a problem in Thermal Physics*. Academic Press, New York, 1968.
- 6) Prigogine, I. Temps, Structure et Entropie. *Bulletin de la Academie Royale de Belgique (Classe Sci.)*, 53, 273, 1967.
- 7) Prigogine, I. Biological Order, Structure and Instabilities, en *Quarterly Review of Biophysics*, 4, 107, 1971.
- 8) Schrödinger, E. *What is Life?* Cambridge University Press, Cambridge, Mass. 1944.
- 9) Zhabotinski, A.M. Periodic course of oxidation of malonic acid in solution. en *Biophysics*, Nueva York, 9, 306, 1964.

Evolución de los sistemas bioenergéticos

La aparición y persistencia de los organismos vivos presupone un alejamiento de su estado de equilibrio. Existen tres mecanismos para la generación biológica de la energía requerida en este alejamiento: fotosíntesis, fermentación y respiración.



Carlos Gómez Lojero

Ilustración de Mabel Blanca Fernández

La brega por la vida es la brega contra la entropía

Boltzmann, el padre de la física estadística, hizo una afirmación ingeniosa: "la brega por la vida no es la brega por energía o materiales de construcción, sino la brega contra la entropía". En otras palabras, los seres vivos se esfuerzan por disipar, tan rápido como sea posible, su energía disponible. Así, la vida es un gran catalizador que acelera la disipación de la energía libre: elimina los "obstáculos" asociados al potencial.

En forma similar, Lotka, en su libro *Elementos de Biología Matemática*, apuntó la tendencia del

mundo viviente "a incrementar la velocidad del flujo de energía a través de un sistema de naturaleza orgánica". Además, no sin algunas reservas, se inclinó a sugerir una ley evolutiva en esta tendencia.

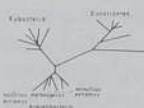
Por otra parte, Zotin y Krivolonski obtuvieron una relación entre la velocidad específica de la respiración de animales y su posición en la escala evolutiva. Demostraron que en el curso de la evolución hay un incremento continuo en esta velocidad, que puede considerarse como una medida de la densidad de procesos termodinámicos, los cuales están alejados de la situación de equilibrio en los sistemas vivientes. Por lo tanto, las formas vivientes incrementaron su separación de la posición de equilibrio en el curso de la evolución. Ahora sabemos que esta situación sólo se puede mantener mediante una disipación continua de energía libre. El mundo vi-viente tiene entonces una estructura dinámica, rica en formas y estructuras disipativas.

Carlos Gómez-Lojero es médico cirujano y doctor en bioquímica de la UNAM. Actualmente es profesor titular del Departamento de Bioquímica del CINVESTAV. Su campo de investigación es la fotosíntesis en cianobacterias.

La sorprendente diversidad morfológica de los organismos superiores puede haber surgido a partir de estos principios termodinámicos. Todavía más, el alejamiento de un sistema de su condición de equilibrio puede estar asociado con la separación entre el sistema y su medio ambiente. Entre más alejado esté el sistema del punto de equilibrio termodinámico, estará más diferenciado de su medio ambiente. Esta diferenciación no quiere decir que el sistema esté aislado; para poder adaptarse y sobrevivir el sistema vivo tiene que registrar y evaluar (conocer) en forma continua las propiedades y cambios del medio ambiente. Desde este punto de vista, la evolución biológica es la evolución del conocimiento que tiene un sistema para reducir la entropía asociada al proceso de disipación de su energía libre. Este conocimiento es a la vez la causa y el resultado del incremento de la velocidad de disipación de la energía libre. De esta manera se puede entender a la vida como un fenómeno natural en un universo sujeto a la segunda ley de la termodinámica. Se ha denominado biología cognoscitiva a estos intentos por entender el fenómeno biológico desde un punto de vista cognoscitivo. Esto representa una contribución lógica a la bioenergética.

Así, el conocimiento humano es extensión lógica de la tendencia evolutiva universal. Los avances en la tecnología del DNA recombinante, las translocaciones artificiales, y las recombinaciones de genes, la construcción de proteínas y la preparación de genes sintéticos, todo ello representa un incremento enorme en la velocidad de la evolución y, necesariamente, en la velocidad de disipación de la energía libre.

Figura 1



Alcalá, Universidad Nacional de México (1987)
México, D.F. 06700

Los postulados de la teoría de la evolución de Darwin

- 1.- El mundo no es estático. Se encuentra en evolución.
 - a) Las especies cambian continuamente. Nuevas especies aparecen, otras se extinguen.
 - b) El medio cambia como resultado de la actividad de los seres vivos.
- 2.- El proceso de la evolución es gradual y continuo. No hay saltos ni cambios repentinos.
- 3.- Organismos similares están relacionados y descienden de un ancestro común.
- 4.- La permanencia de los seres vivos resulta de la selección natural, proceso que se lleva a cabo en dos pasos.
 - a) La producción de la variación en los individuos. La entendemos actualmente a través de cambios en el genoma. (Multiplicación de genes, mutación, recombinación y transposición).
 - b) La selección por medio de la sobrevivencia del más apto. Contendiendo con el clima, la competencia con otros organismos y en general con el ambiente: la lucha por la existencia.

El flujo de energía libre es el flujo de ATP

Una de las constantes bioquímicas de todos los seres vivos es el empleo de la molécula de adenosina trifosfato (ATP) como moneda de intercambio energético. El ATP es esencial para el funcionamiento de la célula. Por medio de transformadores "proteicos", la célula utiliza la energía de hidrólisis del ATP para llevar a cabo prácticamente todas sus funciones: biosíntesis, contracción, acumulación y excreción de metabolitos, recepción y envío de señales eléctricas a través de la membrana, emisión de luz para protegerse del oxígeno o para reconocerse y la emisión de calor para conservar la temperatura más adecuada para que ocurran sus reacciones químicas. Esta versátil molécula se puede sintetizar por medio de dos mecanismos: (1) síntesis de ATP por medio de la fosforilación a nivel del sustrato --que es la transferencia de energía por traslo-

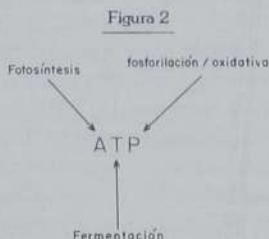
cación de grupo-- y (2) la síntesis quimiosmótica de ATP --que es el empleo de la fuerza protón-motriz, acumulada en una membrana acoplante, para impulsar la síntesis de ATP--. Estos dos mecanismos se encuentran presentes en los tres grandes procesos generadores de ATP: fotosíntesis, fermentación y respiración.

La estructura del ATP --una base púrica, la adenina, un azúcar, la ribosa y la presencia de fosfatos unidos entre sí por uniones anhídrido-- se encuentra como vestigio en coenzimas. En el NAD⁺, aparte del nucleótido de nicotinamida se encuentra el nucleótido de Adenina. En el FAD, junto al nucleótido de flavina y en la coenzima A, junto al ácido pantoténico está también el nucleótido de Adenina. No deja de llamar la atención que en estas moléculas distribuidoras de hidrógenos y grupos acilo esté presente esta parte constante "¿vestigio evolutivo de ribozimas?".

El ATP y tres nucleótidos trifosforilados son la base estructural y energética para la síntesis de polinu-

cleótidos del tipo del RNA. Estos nucleótidos transfieren también energía en la biosíntesis orgánica: la uridina trifosfato (UTP) en la polimerización de azúcares; la citidina trifosfato (CTP) en la síntesis de lípidos; y la guanosina trifosfato GTP en la polimerización específica y ordenada de los aminoácidos que conforman a una proteína.

Los mecanismos fundamentales de obtención de energía se pueden dividir en dos tipos de procesos: a) aquellos que extraen energía de las moléculas con poco cambio en el estado de óxido-reducción; esta energía se extrae por medio de rearrreglos moleculares y transferencia de grupos, como ocurre en los procesos fermentativos. Esta energía se usa para fabricar ATP por la célula utilizando la fosforilación a nivel del sustrato; este proceso extrae poca energía. b) Los procesos que extraen mayor cantidad de energía por medio de óxido-reducciones, la respiración y la fotosíntesis, lo hacen utilizando el principio quimiosmótico para la síntesis de ATP. La versión simplificada de la teoría quimiosmótica esencialmente involucra una reacción vectorial (sí, es una reacción redox, en esta se alternan acarreadores de electrones con acarreadores de hidrógeno) que establece un potencial electroquímico de protones suficiente para que a su regreso a su estado de menor energía los protones, a través del transductor (ATP sintasa), produzcan ATP.



La energía disponible

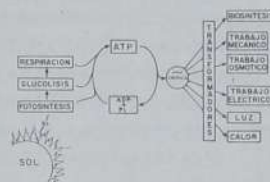
Cuando se quema glucosa en una bomba calorimétrica se liberan 674 kilocalorías (Kcal) por mol ($-\Delta H$). El cambio de entropía ($T\Delta S$) es de 12 kcal y la energía libre ($-\Delta G$) liberada con la combustión de una mol de glucosa es de aproximadamente 686 kcal. La síntesis de una mol de glucosa en las plantas verdes requiere también de alrededor de 686 kilocal. Asimismo, cuando un animal oxida una mol de glucosa, produciendo bióxido de carbono y agua, se liberan 686 kcal.

La eficiencia biológica de un organismo puede ser medida en términos de la porción de esas 686 kcal

utilizadas en los procesos biológicos. No obstante, es necesario distinguir entre la eficiencia para captar energía—que está dada por la energía libre de los sustratos del metabolismo que puede ser captada en forma de ATP—y la eficiencia con la que la energía captada puede ser utilizada en la ejecución de trabajo mecánico u otra clase de trabajo biológico. Además, se debe distinguir entre la eficiencia total de la célula, del tejido o del organismo. En términos generales, las células pueden conseguir una eficiencia de captación de energía del 50-75%, pero su eficiencia total no es mayor que la que alcanzan las máquinas hechas por el hombre.

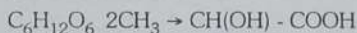
Figura 3

FLUJO DE ENERGÍA EN LOS SERES VIVOS



La fermentación

La glucosa puede ser degradada por otros caminos que no son los de su oxidación completa. Las células musculares, trabajando bajo condiciones anaeróbicas, pueden convertir la glucosa en ácido láctico mediante un proceso conocido como glucólisis:



La levadura puede fermentar la glucosa, también en condiciones anaeróbicas, produciendo alcohol y bióxido de carbono:



El cambio de energía libre en estas dos reacciones no es tan grande como en la combustión completa; en ambas reacciones, una proporción grande de la energía libre total del material inicial permanece en los productos finales, a la cual se accede por degradación posterior de los mismos. El cambio de energía libre en la oxidación del ácido láctico alcanza 325 kcal por mol o 650 kcal por dos moles producidos por un mol de glucosa. La obtención de energía libre en la glucólisis

es menor que la asociada con la combustión completa de la glucosa. En condiciones anaeróbicas, el músculo tiene acceso a estas 36 kcal, a diferencia de las 686 kcal disponibles en la oxidación completa de la misma cantidad de glucosa en condiciones aeróbicas.

Por lo tanto, para que el músculo obtenga la cantidad equivalente de energía requiere "glicolizar" cerca de 20 veces la cantidad de glucosa que se oxidaría en forma completa.

El metabolismo aeróbico es mucho más eficiente que el anaeróbico. Pero en ningún caso se colige que las células o tejidos pueden realmente utilizar toda la energía disponible por oxidación, fermentación o al glicolizar el material alimenticio. Una de las razones de la poca eficiencia de las reacciones fermentativas es que no ocurre ninguna oxidación neta del sustrato. En general, los hidrógenos extraídos del sustrato en alguna etapa de la secuencia metabólica deben ser regresados al producto final de la vía glicolítica. Esto significa que uno (o más) compuestos fueron rearrreglados en compuestos del mismo nivel de óxido-reducción, pero con un contenido menor de energía.

Principio de las imperfecciones de Darwin para encontrar pistas evolutivas

Darwin aconseja que debemos prestar atención a las imperfecciones y rarezas, debido a que la perfección en el diseño orgánico o ecológico oculta los caminos de la historia y puede hacernos pensar que este diseño fue creado desde el principio como lo encontramos hoy.

sobrevivir en condiciones anaeróbicas al catalizar un rompimiento parcial de los materiales alimenticios. La mayoría de los animales son aeróbicos estrictos; muy pocos pueden vivir por períodos largos en ausencia completa de oxígeno. Algunos procesos pueden efectuarse en ciertos tejidos animales bajo condiciones anaeróbicas,

siempre y cuando el "débito de oxígeno" pueda ser repuesto en forma rápida.

El metabolismo de la glucosa en eucariontes se realiza entre la mitocondria y el citoplasma. Este es fermentativo y secreta piruvato, el cual a su vez es oxidado por la mitocondria para producir CO_2 y H_2O . La vía glicolítica parece haber surgido primariamente por asociación al azar de enzimas.

Una ventaja: la velocidad de extracción de energía

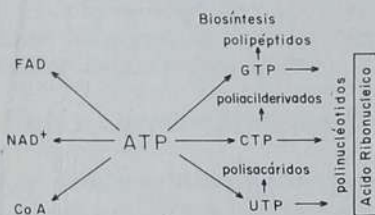
No es la eficiencia en la utilización de la energía la que es ventajosa, sino la velocidad de crecimiento. Un organismo que crece y metaboliza rápidamente, ganará la competencia por fuentes de energía a un organismo perezoso, aun cuando éste sea más eficiente para utilizar su energía. El conocimiento actual del crecimiento bacteriano muestra que los microorganismos optimizan al máximo la velocidad de crecimiento y no la eficiencia energética. La eficiencia de la conversión energética y la velocidad de los procesos están relacionadas. Si la eficiencia fuera máxima (100%), no habría flujo a través del sistema. Cualquier flujo neto implica disminución en la capacidad para trabajar, esto es, en la disipación de energía libre.

La sobrevivencia del más rápido no es, por supuesto, general. La diversidad del mundo biológico es tan rica que no existe un parámetro universal que haya sido optimizado para todas las especies. Esto resulta obvio considerando la amplia variedad de estrategias de sobrevivencia.

La innovación evolutiva

Desde el inicio de la vida, el mantenimiento del pH constante del citoplasma ("pH stat") y el balance osmótico de la célula, han sido tareas fundamentales

Figura 4

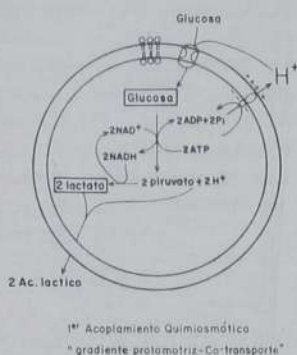


Los organismos conocidos que obtienen energía por fermentación son los clostridios y lactobacilos, los cuales se han hecho aerotolerantes y algunos han aprendido a utilizar el oxígeno. Estos ajustes parecen ser adaptaciones recientes.

Resulta conveniente clasificar a los organismos como aeróbicos y anaeróbicos. En realidad, la anaerobiosis estricta está restringida a unos cuantos grupos de bacterias que no son capaces de utilizar el oxígeno porque resulta ser venenoso para ellas. La mayoría de los microorganismos son anaeróbicos facultativos; pueden utilizar el oxígeno cuando está accesible y oxidan sus alimentos completamente; pueden

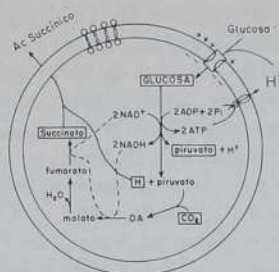
efectuadas por sistemas membranales. Es bien conocida la dependencia de las enzimas al pH y a la fuerza iónica; modificaciones de estos parámetros al azar traerían caos en las reacciones concertadas de la célula, por lo que ambos parámetros deben haber constituido condiciones sujetas a una gran presión selectiva. Es posible concebir que un organismo que tuviera un sistema activo de protones y/o iones aventajara a otros que tuvieran sistemas pasivos. Es decir que para contender con los protones producidos por las reacciones celulares, la presencia de un canal del tipo gramicidina, puede ayudar, ya que les facilita el paso a través de la membrana lipídica, obviamente hacia fuera si la concentración de H^+ es menor; no cabe duda que este proceso se hace más eficiente con la presencia de H-ATPasa membranar que funciona aun contra la alta concentración de protones en el exterior.

Figura 5



Luego entonces la tarea de "pH stat" de la protón-ATPasa de la membrana citoplásmica es esencial y le permite residir y permanecer por derecho propio en los seres vivos. Aunado a la permanencia del sistema, gradualmente, puede aparecer sistemas de transporte que acoplen la entrada de combustibles y plásticos al gradiente generado a través de la membrana por la H-ATPasa, constituyendo así el primer sistema quimiosmótico de la célula. La figura 5 nos muestra el mínimo de componentes de una célula. Un sistema generador de ATP que no involucra cambios netos de oxidación, como son los procesos fermentativos, y sus productos ácidos son eliminados como metabolitos finales, que no pueden sufrir ninguna reacción posterior, porque son a su vez receptores del poder reductor que se obtuvo en los rearre-

Figura 6

El 1° Fumarato como "alcantarilla" de Hidrogeno

glos que se llevan a cabo para extraer la energía por transforilación.

La aparición de un sistema carboxílico de piruvato y de reducción sucesiva de oxalacetato y fumarato, permiten la retención de una molécula de piruvato para otros fines de la célula, ya que ahora el poder reductor generado en los rearrreglos fermentativos puede ser eliminado en una sola molécula y constituir esta una alcantarilla de hidrógeno. (Figura 6). Para esta función es esencial la presencia de la fumarato reductasa como ocurre en *Veillonella alcalescens*. La incorporación de la fumarato reductasa a la membrana pudo haber constituido la invención de un sistema de fosforilación acoplada a la transferencia de electrones de NAD a FAD en tiempos muy tempranos de las bacterias fermentativas. Sin embargo, no es indispensable este acoplamiento a la fosforilación, para tener alguna ventaja, ya que el bombeo de H^+ utilizando la energía redox permite la disponibilidad de ATP para otros procesos celulares. (Figura 7).

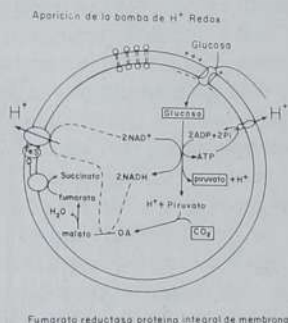
El crecimiento de *E. coli* en condiciones anaeróbicas, se ve supeditado al empleo de sustratos fermentables, sin embargo la presencia de fumarato, permite que *E. coli* crezca en presencia de glicerol, sustrato no fermentable. Esta observación es evidencia de que la fosforilación oxidativa opera en ausencia de oxígeno siempre y cuando haya un aceptor de electrones sustituto. El fumarato actúa como alcantarilla de electrones provenientes de la primera asa de la cadena respiratoria y permite que se genere un gradiente electroquímico de protones a través de la membrana. Al alcanzar un umbral adecuado, este gradiente, con un posible cambio de estequiometría de la H-ATPasa, ésta se transformó en sintetasa y surgió así el mecanismo quimiosmótico de síntesis de ATP.

El fumarato, como el oxígeno, actúa como una alcantarilla de equivalentes reductores derivados del catabolismo, permitiendo la reoxidación de los piridin nucleótidos, y por lo tanto el recambio de metabolitos es continuo. El fumarato sirve como un oxidante de la respiración anaeróbica. El fumarato es la forma oxidada de la pareja óxido-reductora, fumarato/succinato; esta pareja tiene un potencial medio de óxido-reducción de 30 mV y en la reacción se transfieren dos electrones.

La fumarato reductasa y su cadena respiratoria asociada en *E. coli*, como en muchas otras bacterias y algunos eucariontes son capaces de crecimiento anaeróbico con una fuente de carbón no fermentable, siempre y cuando se agregue fumarato al medio como un oxidante de la cadena respiratoria.

Lo anterior ilustra cómo la invención evolutiva no es brusca sino paulatina. La invención evolutiva puede resultar ventajosa en forma secundaria a la que la preserva inicialmente y por largo tiempo al sistema y posteriormente dar el gran brinco evolutivo.

Figura 7



Otro ejemplo de esta forma de establecer la innovación evolutiva lo constituye el ciclo de los ácidos tricarbóxicos. No es fácil concebir la aparición brusca del ciclo de Krebs tal y como lo conocemos hoy como el gran generador de poder reductor que alimenta la fosforilación oxidativa y por ende la producción de ATP. Sin embargo, es concebible la presencia de esta serie de enzimas llenando otra función u otro requerimiento que le permitieran permanecer y dar alguna ventaja a la célula, como la de obtener energía a través

La proposición evolutiva de Mitchell para el sistema quimiosmótico

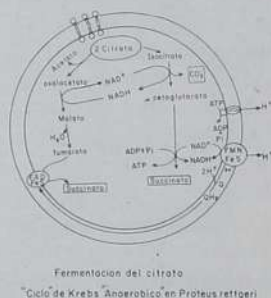
Mitchell, P. (1979). Propuso que los sistemas translocadores primarios de H⁺ (el ASA oxidoreductora y la H⁺ ATPasa) emergieron separadamente en células procarionóticas primitivas como formas alternas de generar el gradiente eléctrico y de pH requerido para la acumulación de nutrientes y la regulación osmótica mediada por los sistemas transportadores secundarios. La presencia accidental de ambos sistemas en una misma célula proveyeron una forma de almacenar energía de oxidorreducción en el ATP sintetizado por la reversa de la ATPasa.

de la fosforilación a nivel del sustrato de la succinil coenzima A y energía redox que permita el bombeo de protones para restituir el pH del citoplasma ("pH stat").

Si volvemos a ver lo que ocurre en *Proteus rettgeri*, que fermenta al citrato (Figura 8), nos percatamos que el sistema enzimático del ciclo de los ácidos tricarbóxílicos está en función en condiciones

anaeróbicas y sólo se requiere para su operación como ciclo un aceptor de hidrógenos (el oxígeno) y que la fumarato reductasa se convierta en succinato deshidrogenasa. A este respecto, recientemente se ha reportado la secuencia de AA de la fumarato reductasa y de la deshidrogenasa succínica, encontrando un grado de homología de 64% en *E. coli*, por lo que se plantea que el ancestro de la deshidrogenasa succínica es la fumarato reductasa por el ácido fumárico es mayor que la del succinato, y lo contrario sucede en la deshidrogenasa succínica.

Figura 8



El perfeccionamiento de las enzimas reguladoras constituye una innovación evolutiva

Se ha demostrado teóricamente que una enzima monomérica no puede ser regulada cuando alcanza la "perfección cinética". Sólo las enzimas poliméricas pueden exhibir capacidad regulatoria y eficiencia catalítica. Esta puede ser la razón por la cual algunas enzimas encarióticas contienen más subunidades que sus contrapartes procarióticas, aun cuando su eficiencia catalítica pueda no ser diferente. Kadenbach dio un ejemplo ilustrativo: la citocromo oxidasa

de procariontes contiene tres subunidades (*Paracoccus*), la de *Dictyostelium discoideum* 6, la de levadura 9, y la de mamíferos 13 subunidades diferentes. Entre más alta se sitúa una especie en un árbol evolutivo, más subunidades contiene. La perfección catalítica de la citocromo oxidasa es aparentemente la misma en bacterias (es también una bomba de protones) como en mamíferos; sin embargo, de acuerdo con Kadenbach, las subunidades adicionales presentes en los mamíferos están involucradas en la regulación alostérica de la citocromo oxidasa y varían de tejido a tejido dando especificidad a su regulación?

Otra forma de mejorar ha sido vestir las enzimas existentes con mecanismos de modificación postraduccional. Esencialmente las funciones regulatorias son las que han evolucionado en eucariontes. En *Neurospora*, el dispositivo acoplador puede estar sujeto a regulación por sí mismo.

La ATPasa translocadora de protones de la membrana plasmática puede cambiar su estequiometría de acuerdo a las condiciones externas. La relación protón/ATP=1 fue encontrada en condiciones de plenitud de energía; la estequiometría cambio a 2, operando para un máximo de eficiencia en condiciones de restricción de energía. Cuando se manejó la posibilidad de cambio de estequiometría, se propuso que esa relación en la citocromo oxidasa de mitocondria podría cambiar de 2 a 4 H⁺, de acuerdo con las condiciones intracelulares.

Consideraciones finales

Doolittle (1982) ha señalado que nosotros nunca entenderemos las funciones de todos los elementos estructurales presentes en el genoma hasta que entendamos las presiones selectivas, presiones que pueden operar a niveles que ni nos son familiares ni confortables. Intuitivamente nos inclinamos a creer que la competencia por fuentes de energía puede ser un factor evolutivo principal: los organismos se seleccionan rápidamente con las más altas eficiencias posibles de transformación y utilización de energía: todos los organismos exhiben mecanismos muy eficientes de transformación de energía incluyendo a los llamados "fósiles vivos" como las bacterias metanógenas.

Es factible que la "perfección energética" haya sido alcanzada en tiempos tempranos de evolución en paralelo con la elaboración de las vías metabólicas.

Uno está obligado a pensar en un desarrollo evolutivo en paralelo entre la eficiencia en la conversión energética y la catálisis enzimática. Lo anterior puede verse con claridad si consideramos la oxidación de un mol de glucosa por un kg de levadura, la cual implica la liberación de 680 calorías; esto significaría pasar de 25°C a 705°C si no estuviera acoplado a procesos endergónicos que utilizan y almacenan parte de esa energía, por ejemplo en la síntesis de ATP.

De acuerdo al escenario que generalmente se acepta donde surgió la vida, la atmósfera original de la tierra contenía gases con un alto grado de reducción. Las sustancias reducidas fueron transformadas a aminoácidos, a bases nitrogenadas de los ácidos nucleicos y a otras sustancias con un grado de reducción y contenido de energía similar a la biomasa actual. La única energía requerida fue para la polimerización de las unidades monoméricas y posiblemente para su concentración dentro de las protocélulas. La "sopa primigenia" era probablemente rica en tales monómeros e inclusive en ATP de tal forma que la energía no escaseaba en las fases tempranas de la evolución.

Para contender con la producción de protones por las reacciones celulares, la presencia de un canal del tipo de gramicidina pudo permitir el paso a través de la membrana lipídica de H⁺ hacia el exterior de menor concentración; no cabe duda que este proceso se hizo más eficiente cuando se asoció a una ATPasa membranar que podía expulsarlos aún contra una mayor concentración.

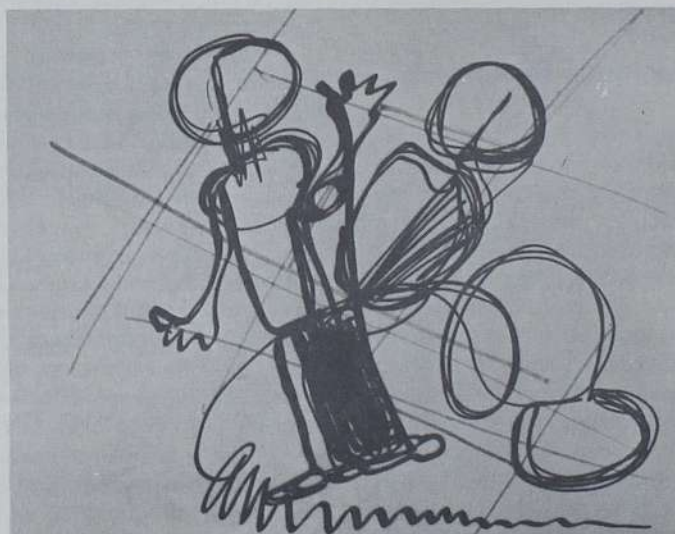
Un mundo anaeróbico rodeado por materia orgánica que se podía acumular por la evolución química sirvió para que los primeros organismos vivieran por medio de la fermentación. Grandes cantidades de CO₂ fueron accesibles con el tiempo, más de las que existen actualmente, e hicieron posible el desarrollo de la fotosíntesis (ciclo de Calvin, fijación de CO₂). No había ni organismos ni oxígeno libre, por lo tanto los compuestos orgánicos deben haber sido estables por períodos muy largos. Nosotros tendemos habitualmente a pensar que el ambiente es fundamental para los organismos vivos; sin embargo, la característica más importante del ambiente físico es el resultado del trabajo de los organismos vivos.

No es posible en un breve ensayo incluir todos los aspectos evolutivos de la bioenergética, por lo que basta por ahora enumerar en secuencia directa la aparición de sistemas más complejos y tratarlos en una futura ocasión:

1. Fermentación - síntesis anaeróbica de ATP
2. Bomba de H^+ impulsada por ATP para evitar la acidificación del citoplasma.
3. Utilización de la energía redox para bombear protones. Bomba de H^+ impulsada por energía redox usando como aceptores SO_4^- y NO_3^- en un ambiente anaeróbico. Forma primitiva de respiración.
4. Acoplamiento a través de las membranas del excedente de energía redox para bombear protones y la reversibilidad de la bomba de H^+ de ATP.
5. Agotamiento o disminución de la energía redox. Aparición de la fotosíntesis anoxigénica. Utilización de energía radiante para subir la energía redox.
6. Aparición del fotosistema II fotólisis del agua, donador de electrones, abundante en el planeta, generación de la atmósfera oxigénica.
7. La crisis de oxígeno. Los sistemas se protegen del oxígeno y lo utilizan.
8. Aparición de la citocromo oxidasa. Eficiencia máxima de la transformación de la energía covalente a ATP.
9. La interacción de procariontes con eucariontes, la endosimbiosis/compartimentación ¿nucleótido-translocasa?
10. La biogénesis de organelos generadores de energía.
11. Las proteínas tejido-específicas de los complejos respiratorios en organismos multicelulares.

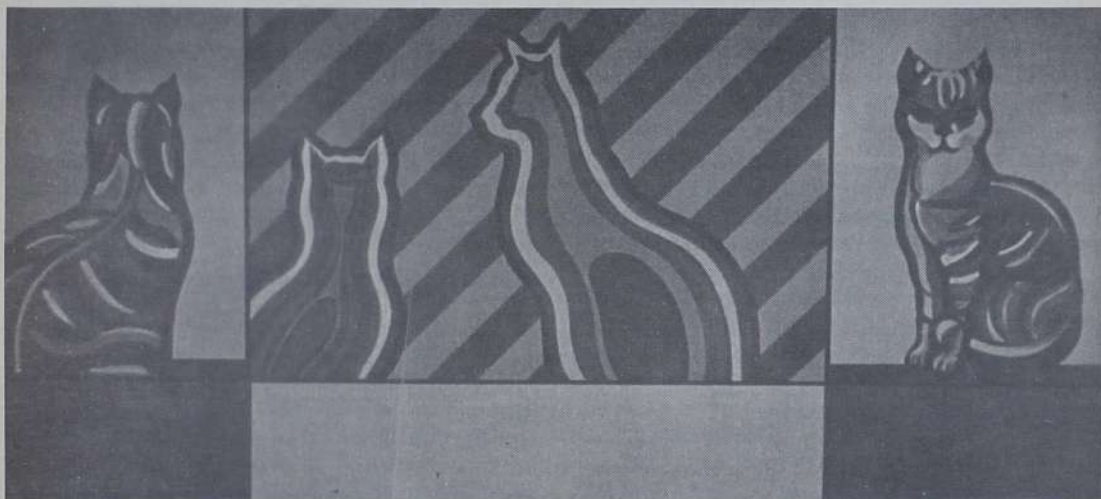
Bibliografía

1. Dickerson, R.E. (1980) Cytochrome C and the evolution of energy metabolism, *Scientific American* 242:99-110.
2. Raven, J.A. and Smith, F.A. (1976) The evolution of Chemiosmotic energy coupling, *J. Theor. Biol.* 57:302-312.
3. J.B. Hall (1971) Evolution of the prokaryotes. *J. Theor. Biol.* 30, 429-454.
4. T.H. Wilson & E.C.C. Lin (1980) Evolution of membrane Bioenergetics. *J. of Supramolecular Structure* 13,421-446.
5. Cozens, A.L. and J.E. Walker (1987) The organization and sequence of the genes for ATP synthase subunits in the cyanobacterium *Synechococcus* 6301: support for an endosymbiotic origin of chloroplasts, *J. Mol. Biol.* 194:359-383.
6. Mukohata, Y. and Yoshida, M (1987) The proton translocating ATP synthase in *Halobacterium halobium* differs from FoFi-ATPase synthase, *J. Biochem.* 102:797-802.
7. Mendel, M. et al. (1988) cDNA sequence encoding the 16 kDa proteolipid of chromaffin granules implies gene duplication in the evolution of H^+ -ATPase, *Proc. Natl. Acad. Sci. (USA)* 85:5521-5524.



El genoma: ¿unidad de selección evolutiva?

Los biólogos aceptan, en general, que los organismos son la unidad de selección evolutiva. ¿Puede considerarse al genoma y no al organismo como la unidad de selección?



M. del Carmen Gómez Eichelmann

Ilustraciones de Mabel Blanca Fernández

La teoría de la evolución, como se interpreta actualmente, propone una serie de conceptos generales sobre los cuales la mayoría de los biólogos está de acuerdo. Se acepta que para poder evolucionar, un sistema biológico requiere estar compuesto por un conjunto de unidades capaces de replicarse, es decir, generar copias de sí mismas.

María del Carmen Gómez Eichelmann es médica cirujana de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí y doctora en ciencias (Genética) del CINVESTAV. Actualmente es investigadora titular del Instituto de Investigaciones Biomédicas de la UNAM. Su campo de investigación es la dinámica molecular del DNA extracromosomal y la regulación de la expresión genética en bacterias.

El mecanismo de copiado no es perfecto, con lo que se asegura, por una parte, la generación de copias exactas (componente evolutivo de permanencia) y por otra la generación de una fracción de copias no exactas (componente evolutivo de variación). La consecuencia de este copiado imperfecto es la generación de unidades con diferente capacidad para replicarse y para interactuar con el medio ambiente y por lo tanto con diferente potencial evolutivo.

De manera general, también se acepta que la unidad de variación de los sistemas biológicos es el *gene*, que los *organismos* constituyen la unidad de selección y que lo que evoluciona, es decir, la unidad de evolución, es la especie. Aunque existen varias de-

finiciones de *gene*, difícilmente podría encontrarse un biólogo actual que negara al *gene* como la unidad de variación.

Si bien se acepta que los genes son las unidades de variación de los sistemas biológicos, aún se discute cuál es el mecanismo principal que genera la diversidad génica. Al respecto existen dos posiciones: la neodarwinista, defendida con éxito principalmente por geneticistas bacterianos y biólogos moleculares, que propone como mecanismo de variación a la mutagénesis espontánea, y la lamarckista, que propone a la mutagénesis dirigida y por ende a la herencia de los caracteres adquiridos. Los datos experimentales, principalmente de la biología molecular, apoyan fuertemente la posición neodarwinista; mientras que los pocos datos experimentales que podrían apoyar a la posición lamarckista han resultado fraudulentos o irreproducibles. Es importante mencionar que esta vieja polémica se ha reavivado recientemente como resultado de un trabajo del grupo de J. Cairns¹, biólogo molecular de gran prestigio. En este trabajo, publicado en *Nature* en septiembre de 1988, el grupo de Cairns propone la existencia de mutagénesis dirigida en *Escherichia coli* (la infinita caja de Pandora de la biología molecular). Sin embargo, los datos experimentales presentados no permiten una conclusión sólida, como es claramente asentado por los propios investigadores. Además, y no deja de ser interesante anotar, el mecanismo molecular que proponen para explicar esa mutagénesis dirigida es una selección idarwinista a nivel de una población heterogénea de moléculas de mRNA.

La especie como unidad de evolución es también un concepto ampliamente aceptado, aunque continúan siendo temas de debate tanto la definición de especie como los mecanismos que determinan la aparición de nuevas especies.

Un concepto discutido entre los evolucionistas es el de considerar al organismo como la unidad de selección. Si bien la posición ortodoxa darwinista defiende al organismo como unidad de selección, otros grupos han propuesto y defendido al *gene*, al *genoma*, e inclusive a grupos de organismos como la unidad de selección. El biólogo inglés Richard Dawkins, en su divertido libro *The Selfish DNA*², propuso al *gene* como unidad de selección, suscitando una enconada polémica que aún continúa, mientras que el biólogo escocés V. C. Wynne-Edwards, en su libro *Animal Dispersion in Relation to Social Behaviour*³, al proponer a grupos de organismos como unidad de se-

lección, despertó otra no menos enconada polémica. A partir de 1976, primero el grupo de G. Bernardi^{4,6}, en Francia, y posteriormente el de G. Holmquist^{7,9} en Estados Unidos, entre otros, han ido acumulando evidencias experimentales que permiten una visión más clara de la organización de los genomas de diferentes organismos. Estos grupos proponen de manera directa (Bernardi) o indirecta (Holmquist) al *genoma* como la unidad de selección evolutiva. Para los biólogos moleculares esta idea es particularmente atractiva, ya que constituye una alternativa menos reduccionista que la propuesta por Dawkins y en ella el DNA mantiene su papel central en la evolución.

El objetivo de este ensayo es el presentar los argumentos que sustentan la propuesta de que el *genoma* es la unidad de selección. Para ello, primero se presentarán algunas ideas generales sobre estrategias y niveles de organización de los genomas y una especie de "anatomía comparada" de los cromosomas y posteriormente se presentarán y discutirán las principales evidencias experimentales que permiten proponer al *genoma* como unidad de selección.

Estrategias de organización de los genomas

En la escala de tiempo de la biósfera, se considera que primero aparecieron organismos unicelulares sencillos y posteriormente organismos multicelulares cada vez más complejos. Para definir a un organismo unicelular se requiere menos información genética que para definir a un organismo multicelular. A su vez, los organismos multicelulares complejos requieren mayor información genética que los multicelulares sencillos. Para este análisis, los seres vivos pueden dividirse en dos grandes grupos: organismos unicelulares y organismos multicelulares. Un organismo unicelular contiene la información genética que define a la célula que lo constituye; en cambio, un organismo multicelular requiere, además de la información que define a las células, información adicional para definir a cada clase celular que lo constituye. Por ejemplo, un organismo multicelular constituido por dos clases diferentes de células A y B, además de la información necesaria para definir lo común a las células A y B, requiere información adicional para definir a la clase A y a la clase B. Un organismo con un número mayor de clases de células requerirá, por lo tanto, una cantidad mayor de información adicional para definir

a todas las células. Las células del organismo más complejo que se conoce, el humano, contienen aproximadamente 12,000 genes necesarios para el funcionamiento celular, más unos 45,000 genes para definir a todas las diferentes clases de células que lo forman.

Esto significa que al evolucionar de sencillos a complejos los organismos requieren más información genética. Sin embargo, al analizar la cantidad de DNA celular de organismos con grados diferentes de complejidad, se encuentra que no existe necesariamente una relación directa entre el contenido de DNA y la complejidad del organismo. Esta falta de relación se conoce como la paradoja del valor C. Esta paradoja, sin embargo, es sólo aparente, ya que sí parece existir una relación entre el número de genes de un organismo y su complejidad. En los organismos donde no correlacionan cantidad de DNA y complejidad, este hecho parece deberse a la existencia en sus genomas de un alto porcentaje de secuencias de DNA repetido.

Los genomas de organismos más complejos requieren un número mayor de niveles de organización tanto de las moléculas de DNA y de las secuencias únicas y repetidas como de los programas de expresión genética. Una célula de un organismo multicelular complejo expresa un conjunto de genes que la definen como célula (genes de mantenimiento que codifican a las moléculas que catalizan las reacciones celulares básicas y a las moléculas que generan estructuras celulares comunes, como son los ribosomas, las membranas, etc.) y otro conjunto de genes que la definen como célula de una clase determinada (genes tejido-específicos) y reprime un conjunto relativamente grande de genes que definen a todas las otras clases de células que forman a ese organismo. Por ejemplo, en el humano se calcula que una célula dada expresa 12,000 genes comunes a todas las otras células, 2,000 genes que la identifican como célula de una clase determinada y reprime alrededor de 42,000 genes que definen al resto de clases celulares. Esto presupone que en los organismos complejos se requiere un nivel de organización adicional que permita la represión de un gran número de genes tejido-específicos.

Si se considera que los genomas son la unidad de selección, éstos pueden estudiarse y compararse de manera similar a como se hace con los organismos. Ello implica que puede generarse una especie de anatomía comparada y taxonomía de los genomas. Por ejemplo, puede estudiarse y compararse la estruc-

tura de los cromosomas, así como la organización de las moléculas de DNA, las secuencias de DNA únicas y repetidas y los genes en diferentes organismos. Este tipo de análisis permite definir los diferentes niveles de organización de los genomas de diferentes organismos e incluso generar árboles evolutivos.

Hacia una anatomía comparada de los cromosomas

El DNA de las células procarióticas y eucarióticas está organizado para formar estructuras compactas, lo que permite acomodar moléculas muy largas en el volumen relativamente pequeño de las células.

Las células procarióticas contienen únicamente un cromosoma. Este cromosoma es una molécula circular de DNA organizado en asas superenrolladas que mantienen una estructura compacta por la interacción de estas asas con moléculas de RNA y con proteínas básicas similares a las histonas. Este cromosoma se ve al microscopio electrónico como una fina malla de hebras de DNA; no se observan estructuras discretas similares a los nucleosomas, ni es posible obtener por tinción ningún tipo de bandeo como con los cromosomas de los eucariontes. Un nucleosoma es la unidad estructural de la cromatina. Es un fragmento de DNA de aproximadamente 200 pares de bases que se enrolla sobre un octámero de proteínas básicas o histonas.

Los organismos eucarióticos unicelulares contienen más de un cromosoma. Cada cromosoma es una molécula lineal que se organiza para su compactación de manera más compleja. En la mayoría de estas células es posible observar nucleosomas con el microscopio electrónico; esto implica un nivel mayor



de organización de los complejos DNA-proteínas básicas que en los cromosomas procarióticos. Sin embargo, estos cromosomas no se observan como estructuras discretas similares a los cromosomas de las células de organismos eucariontes multicelulares y por lo tanto tampoco es posible obtener en ellos un patrón de bandas, observables con el microscopio electrónico mediante tinción con colorante de Giemsa y fluorocromos derivados de acridina.

En la mayoría de las células de los organismos eucarióticos multicelulares el genoma está constituido también por más de una molécula lineal de DNA (cromosoma). Los cromosomas pueden observarse como estructuras discretas durante la mitosis y meiosis, cuando están más compactos. En estas células existen más niveles de organización de las moléculas de DNA para lograr su compactación. El DNA de los cromosomas se organiza en estructuras ordenadas de niveles crecientes de complejidad. Primero se forman los nucleosomas, posteriormente estos giran para formar a los solenoides, los cuales se organizan en estructuras más complejas; estas estructuras pueden a su vez unirse a la matriz nuclear y formar asas superenrolladas. Durante la meiosis y mitosis se agrega otro nivel de organización para lograr compactación máxima. El nivel de organización a lo largo de un cromosoma en las células en interfase no es homogéneo, ya que depende principalmente del patrón de expresión genética. En general, las secuencias de DNA activas en transcripción se encuentran en regiones del cromosoma con una estructura menos compacta. Los cromosomas durante la mitosis tampoco tienen una estructura homogénea, como puede evidenciarse con diferentes técnicas de tinción. Estas técnicas permiten diferenciar tres compartimentos cromosomales, que pueden identificarse por su tinción diferente como bandas C, G y R, observables con el microscopio óptico en cromosomas condensados. Las bandas C están formadas principalmente por heterocromatina constitutiva y contienen DNA satélite formado de secuencias pequeñas repetidas en tándem; estas regiones de los cromosomas contienen pocos o ningún gene y se localizan principalmente en los centrómeros. Las bandas G y las R se ven cuando los cromosomas se tratan con tripsina y luego se tiñen con colorante de Giemsa; las bandas G se ven oscuras y las R claras (figura 1).

Con tinción de Giemsa de alta resolución se pueden identificar alrededor de 2,000 bandas G-R en los cromosomas humanos. Cada banda tiene en promedio alrededor de 1.3×10^6 pares de bases (pb) (el

cromosoma humano tiene alrededor de 3×10^9 pb). En estas bandas se localizan los genes y las secuencias dispersas alta (más de 1,000 copias) o medianamente (100 a 1,000 copias) repetidas, lo que las hace particularmente atractivas para estudiar la organización de los genomas.

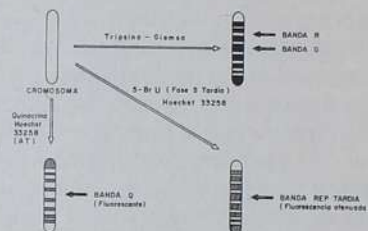


Figura 1. Métodos de tinción diferencial para visualizar las bandas cromosómicas.

La tinción diferencial de las bandas G y R implica que la composición molecular de los cromosomas no es homogénea. En efecto, el DNA presente en estas bandas difiere en su contenido de proteínas y grado de compactación. En las bandas G la cromatina es más compacta que en las R. Además de este método, se pueden distinguir bandas cromosomales con otros dos métodos: a) tratamiento de los cromosomas con quinacrina o con el colorante Hoechst 33258, con los cuales las regiones ricas en A+T fluorescen intensamente (bandas Q); b) incorporación, en células sincronizadas, de 5-bromodeoxiuridina durante la segunda mitad de la fase S (fase celular en que el DNA se replica) y tratamiento posterior de los cromosomas con Hoechst 33258. Las regiones de DNA que contienen timina (fase S temprana) fluorescen más que las regiones de DNA donde se incorporó la 5-bromodeoxiuridina (fase S tardía). Estas bandas se denominan bandas Rep (figura 1).

El estudio del patrón de bandas cromosomales permite analizar los niveles de organización de las moléculas de DNA en diferentes organismos. Como se mencionó antes, en los procariotes y en los organismos eucarióticos unicelulares, los cromosomas no pueden observarse como estructuras discretas. En los insectos no es posible obtener bandeo cromosomal con ninguno de los tres métodos mencionados, mientras que los cromosomas de todos los vertebrados muestran bandeo G-R y Rep. Sin embargo, en los anfibios y en general en los vertebrados de sangre fría, las bandas no se encuentran tan bien definidas como

en los vertebrados de sangre caliente.

En cuanto a las bandas Q, éstas se detectan a partir de los vertebrados de sangre caliente ya que están ausentes en los vertebrados de sangre fría. Sin embargo, las bandas Q de los cromosomas de las aves son menos definidas que las que se encuentran en los cromosomas de los mamíferos.

De estos datos se puede concluir lo siguiente:

1. A partir de los vertebrados, las moléculas de DNA de los cromosomas se organizan en regiones alternadas bien diferenciadas de DNA de estructura compactada y DNA de estructura más laxa (bandas G-R). En estos organismos también el patrón de replicación del DNA tiene un nivel mayor de organización (bandas Rep): las regiones de DNA más compacto (bandas G) se replican durante la fase S tardía, mientras que el DNA más relajado (bandas R) se replica en la fase S temprana. Esta organización empieza a definirse en los vertebrados de sangre fría y está claramente establecida en los vertebrados de sangre caliente.

2. A partir de los vertebrados de sangre caliente es posible definir un nuevo nivel de organización: la separación entre secuencias ricas en C+G (bandas Q menos fluorescentes) y secuencias ricas en A+T (bandas Q más fluorescentes). Las secuencias ricas en C+G corresponden a las bandas R y a las Rep tempranas, mientras que las regiones ricas en A+T corresponden a los G y Rep tardíos. La compartimentalización de secuencias con diferente contenido de C+G es menos marcada en las aves que en los mamíferos.

Esta especie de "anatomía comparada" de los cromosomas muestra que existen diferencias filogenéticas a nivel de la organización macromolecular de los genomas y permite conocer de manera gruesa la evolución de la organización de las moléculas de DNA y ordenar a los organismos de acuerdo al número de niveles de organización presentes en sus cromosomas. Por ejemplo, en orden creciente de complejidad se enumeraría a los siguientes organismos: procariontes, eucariontes unicelulares, invertebrados, vertebrados de sangre fría, aves y mamíferos.

Los genes, las secuencias repetidas dispersas y las bandas cromosomales

Una cuestión importante es qué clase de secuencias de DNA contienen las bandas cromosomales. El

grupo de Holmquist logró separar el DNA de las bandas G del DNA de las bandas R gracias a sus propiedades de replicación tardía y temprana, respectivamente. Para ello sincronizó un cultivo celular y lo incubó en presencia de timina durante la fase S temprana y de 5-bromodeoxiuracilo durante la fase S tardía. De esta manera, el DNA que se replica en la fase S tardía (DNA de las bandas G) puede separarse del DNA de la fase S temprana (DNA de las bandas R) en un gradiente de cloruro de cesio. Posteriormente, este DNA se desnaturalizó, se fijó a filtros de papel de nitrocelulosa y se hibridizó con secuencias específicas (genes, secuencias repetidas) desnaturalizadas y marcadas radiactivamente. Esta metodología tiene una gran limitante: únicamente se puede aplicar a células en cultivo que puedan sincronizarse. La separación del DNA de las bandas G y R y su análisis en cuanto a las secuencias presentes se realizó únicamente para células de dos especies de mamíferos: hámster y humano. Sin embargo, a pesar de esta limitante, los resultados obtenidos por el grupo de Holmquist permiten postular un nuevo nivel de organización genómica: la compartimentalización de la información genética y de las principales familias de secuencias repetidas en dos subgenomas. El subgenoma I o subgenoma de mantenimiento se localiza principalmente en el DNA de las bandas R, con estructura más relajada, rico en C + G y de replicación temprana; este DNA contiene principalmente los genes de mantenimiento y la mayoría de las secuencias *AluI* (humano) o *B1* (ratón, hámster). Las secuencias *AluI* y las equivalentes *B1* en los roedores representan a la familia principal de secuencias pequeñas altamente repetidas (SINE) (hasta 5×10^5 copias) presentes en estos genomas. El subgenoma II o subgenoma ontogénico se localiza principalmente en las bandas G, de estructura más compacta, ricas en A + T y de replicación tardía; en este DNA se localizan la mayoría de los genes tejido-específicos estudiados, así como la mayoría de las secuencias *L1* del humano y de los roedores. Estas secuencias representan la familia principal de secuencias largas altamente repetidas (LINE) ($5 - 7 \times 10^3$ pb, 5×10^4 copias) en estos genomas (tabla 1). El DNA del subgenoma de mantenimiento de los roedores hibridiza en alto grado con el DNA del mismo subgenoma del humano, lo que significa un alto grado de similitud entre ambos. El DNA de los subgenomas ontogénicos de roedores y humanos muestra un grado menor de similitud por esta misma técnica de hibridización.

Estos resultados sugieren que el subgenoma de mantenimiento es más antiguo y se encuentra más conservado, mientras que el ontogénico sería más reciente y por lo tanto menos conservado entre roedores y humanos (tabla 1). El subgenoma ontogénico se detecta a partir de organismos multicelulares y alcanza un número máximo de niveles de organización al aparecer organismos con cerebros complejos y por tanto con mayor cantidad de genes tejido-específicos y un repertorio mayor de programas de represión

genética. En estos organismos, como ya se mencionó, las células expresan una fracción pequeña de genes y reprimen a un gran número de genes tejido-específicos. La organización del genoma en regiones de estructura relajada de replicación temprana y regiones compactas de replicación tardía, permitiría compartimentalizar y reprimir de manera general a la mayoría de los genes tejido-específicos. La estrategia de compactación y replicación tardía de la cromatina para reprimir genes se observa en la inactivación de uno de los dos cromosomas X en las hembras de los mamíferos.



Tabla 1

Características de los dos subgenomas de mamíferos

Subgenoma I	Subgenoma II
Bandas R	Bandas G
Estructura relajada	Estructura compacta
Replicación temprana	Replicación tardía
Rico en C + G	Rico en A + T
Promotores ricos en CG	Promotores con caja TATA
Rico en secuencia tipo Alu1	Rico en secuencias tipo L1
Genes de mantenimiento	Mayoría de genes tejido-específicos
Más conservado	Menos conservado

Holmquist⁹ concluye que la organización de los genomas en DNA de replicación temprana y tardía (bandas Rep) refleja la selección de un nuevo nivel de regulación que se adicionó al repertorio celular pre-existente de mecanismos de represión genética. Este nivel se detecta a partir de los cordados inferiores. Un poco más tarde se añadirían las diferencias en composición de proteínas y compactación de la cromatina que generan las bandas G - R. Finalmente, en los vertebrados de sangre caliente se añade un último nivel de organización al incrementarse el contenido de C + G de las bandas R lo que origina una compartimentalización de los genes de mantenimiento y de los genes tejido-específicos en secuencias con diferente contenido de C + G.

Basándose en el estudio de las características del DNA presente en las bandas cromosomales, el grupo de Holmquist propone estas bandas como las unidades de evolución de los genomas.

El grupo de G. Bernardi^{4,5} separó y analizó también el DNA correspondiente a las bandas R y G. Este grupo utilizó una técnica más poderosa que permite esta separación del DNA de prácticamente cualquier organismo. En su método el DNA se fragmenta y se

centrifuga en gradientes de cloruro de cesio en presencia de moléculas que interaccionan diferencialmente con secuencias ricas en C + G y A + T, lo que aumenta la separación de estas secuencias en los gradientes. Así es posible identificar poblaciones discretas de fragmentos con diferente contenido de C + G ("isocores"): fragmentos de DNA pesado "H" (rico en C + G) y fragmentos ligeros ricos en A + T o fragmentos "L". En los vertebrados de sangre caliente las fracciones H y L están formadas cada una por cuatro subpoblaciones de fragmentos con diferente contenido de C + G. Estos fragmentos con una composición de bases bastante homogénea, tienen un tamaño relativamente grande de más de 3×10^5 pb (aproximadamente el promedio de una banda cromosomal). Los cuatro isocores ricos en C + G se encuentran bien diferenciados en los mamíferos y en las aves (vertebrados de sangre caliente), mientras que en los peces y en las ranas (vertebrados de sangre fría) se detectan menos isocores H o bien están ausentes. El grupo de Bernardi comparó la composición de bases de varios genes de anfibios, aves y mamíferos con la composición promedio del isocore donde se localizaron estos genes, mediante técnicas de hibridación DNA-DNA. También analizó la composición de C + G de los intrones (secuencias que interrumpen a los genes y que son retiradas del transcrito primario o pre-mRNA para generar la secuencia de aminoácidos de las proteínas codificadas por esos genes), de las secuencias vecinas a los genes y a la presencia de C o G principalmente en la tercera base de los codones; para este propósito utilizaron diferentes programas de computación y las secuencias reportadas para estos genes y conservadas en los bancos de secuencias disponibles. Las principales conclusiones de este análisis son:

1. Los anfibios y los peces difieren de las aves y mamíferos en que contienen pocos o ningún isocore tipo H (rico en C + G). Los vertebrados de sangre fría tienen pocos genes ricos en C + G, mientras que la mayoría de los genes de los de sangre caliente son ricos en ellos, a pesar de que representan únicamente un tercio del genoma de estos organismos.

2. Los genes que se encuentran en isocores ricos en A + T en los anfibios, pero que se localizan en isocores ricos en C + G en las aves y en los mamíferos, presentan en estos últimos también un contenido rico en C + G en los intrones, secuencias vecinas y una frecuencia alta de C o G en la tercera posición de los codones.

3. La composición de bases de las secuencias repetidas y de otros elementos genéticos móviles (retroposones) presentes en los diferentes isocores es similar a la del isocore donde se localizan. Los retroposones son secuencias de DNA capaces de insertar copias de ellas mismas en diferentes regiones del genoma. Estas secuencias se transcriben a moléculas de RNA, las cuales son copiadas a DNA por la transcriptasa reversa (generalmente codificada por el propio retroposón). Estas copias pueden insertarse en otras regiones del genoma.

4. El DNA de peces de lagos en donde el agua se halla a $37-40^\circ\text{C}$ presentan isocores más ricos en C + G que el DNA de peces de las mismas especies de aguas más frías. Esto sugiere que el aumento de C + G en los isocores de peces de aguas más calientes se seleccionó en respuesta al incremento de temperatura. Para explicar la diferencia de isocores H entre vertebrados de sangre fría y vertebrados de sangre caliente podría aducirse un argumento similar. Al correlacionar en estos peces los aminoácidos codificados por codones que tenían como tercera base una C o una G en el pez de agua caliente y A o T en el de agua fría, se encontró que el aminoácido correspondiente al codón del gene del pez de agua caliente incrementa la estabilidad de la proteína a temperaturas altas⁶.

5. La mayoría de los genes de mantenimiento se localizaron en isocores ricos en C + G. Los genes tejido-específicos se localizaron preferentemente en isocores ricos en A + T; aunque al estudiar más genes que los analizados por el grupo de Holmquist, se encontró un número mayor de estos genes en isocores ricos en C + G.

Con base en estos hallazgos, el grupo de Bernardi concluye que existen varios mecanismos, incluyendo la fijación de mutaciones puntuales que cambian A o T por C o G principalmente a nivel de la tercera base del codón y la fijación de elementos genéticos móviles ricos en C + G para producir un incremento relativamente homogéneo en el contenido de C + G de fragmentos largos de DNA. Estos mecanismos, entre otros, generaron en los vertebrados de sangre caliente un incremento en C + G de un gran número de genes y de las secuencias en las cuales se encontraban incluidos y con ello una organización del genoma en un mosaico de secuencias ricas y pobres en C + G. Esta organización de mosaico tiende a mantenerse a pesar de la dinámica del DNA (mutación, recombinación, movilización de retroposones, etc.) lo que

sugiere una presión a nivel del genoma para mantenerla. Bernardi⁶ concluye que las características de un gene dependen en una buena medida del isocore donde se localiza y propone directamente que es el genoma la unidad sobre la cual opera la selección natural. Esta interpretación de sus hallazgos cuestiona la teoría neutralista¹⁰ al sugerir que una mutación a nivel de la tercera base del codón que no induce un cambio de aminoácido o una mutación en las secuencias no codificadoras y que podrían considerarse neutras, pueden no serlo si se altera el contenido de C + G del isocore donde se localiza.

Discusión

La polémica sobre si la unidad de selección evolutiva es el gene², el genoma⁶, el organismo (posición darwinista ortodoxa) o grupos de individuos³, es en realidad estéril. Esta polémica refleja, por una parte, la falta de un marco teórico explícito que defina y jerarquice los diferentes niveles de análisis de los fenómenos biológicos y por otra, las dificultades y límites de la comunicación entre biólogos moleculares, biólogos celulares, taxónomos, ecólogos, paleontólogos, etc. Si se definen como unidades de selección darwinista a aquellas unidades capaces de producir copias de sí mismas por un mecanismo que permite la producción de una fracción de copias modificadas con una potencialidad diferente para replicarse e interactuar con el medio en el que se localizan, es posible definir unidades de selección a diferentes niveles de organización biológica. Por ejemplo, los transposones y retrotransposones son secuencias que podrían considerarse unidades de selección en el contexto del conjunto de secuencias totales que forman a un genoma, lo que justificaría el concepto de "selfish DNA" propuesto por Doolittle et al¹¹, Orgel y Crick¹². Con esta misma lógica, las 10 copias del cromosoma de la mitocondria de células germinales de un mamífero macho serían unidades de selección en el medio ambiente intramitocondrial; el conjunto de mitocondrias de estas células serían unidades de selección dentro de la célula y cada célula germinal sería, en un nivel jerárquico mayor, una unidad de selección en el contexto del resto de células germinales. La célula germinal que finalmente da lugar al desarrollo de un nuevo organismo genera, a su vez, una unidad de selección a un nivel jerárquico superior. Esta jerarquización de niveles permitiría eliminar

a un nivel jerárquico menor, de menor costo biológico, a una serie de unidades de selección (genoma mitocondrial, mitocondria, célula) con capacidad adaptativa disminuida⁹. La mayoría de los biólogos aceptaría este tipo de análisis y en este contexto es posible que también la mayoría de los biólogos acepte como la unidad de selección natural al organismo, considerado como la unidad de selección de nivel jerárquico superior.

Glosario

Genoma: El DNA que contiene la información genética que define a un organismo dado. Incluye todas las secuencias presentes en ese DNA: genes, elementos genéticos móviles, secuencias dispersas alta y medianamente repetidas, secuencias repetidas en tándem, pseudogenes, virus integrados, etc.

Heterocromatina: La heterocromatina (regiones del genoma que se encuentran permanentemente en estado condensado y que no se expresan genéticamente), puede ser facultativa o constitutiva. La facultativa puede expresarse genéticamente; la constitutiva está formada por secuencias pequeñas repetidas muchas veces que no se expresan (DNA satélite) y que se localizan principalmente en los centrómeros de los cromosomas, es decir, en la parte que se une al huso mitótico.

Referencias

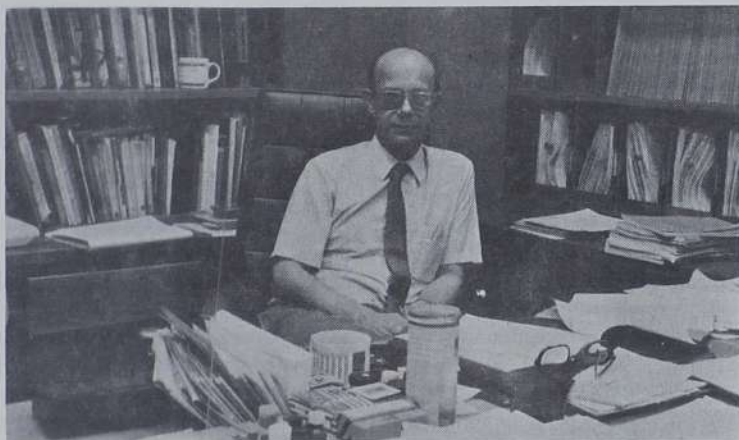
1. Cairns, J., Overbaugh, J. y Miller, S. The origin of mutants. *Nature* 335, 142-145 (1988).
2. Dawkins, R. *The selfish gene*. Oxford University Press: Nueva York (1976) (Hay versión en español: Biblioteca Científica Salvat núm. 9).
3. Wynne-Edwards, V. C. *Animal dispersion in relation to social behaviour*. Londres: Oliver and Boyd. (1962).
4. Thiery, J.-P., Macaya, G. y Bernardi, G. An analysis of eukaryotic genomes by density gradient centrifugation. *J. Mol. Biol.* 108, 219-235 (1976).
5. Bernardi, G., Olofson, B., Filipinski, J., Zerial, M., Salinas, J., Cuny, G., Meunier-Rotival, M. y Rodier, F. The mosaic genome of warm-blooded vertebrates. *Science* 228, 953-958 (1985).
6. Bernardi y Bernardi, G. Compositional constraints and genome evolution. *J. Mol. Evol.* 24, 1-11 (1986).
7. Goldman, M. A., Holmquist, G., Gray, M. C., Caston, L. A. y Nag, A. Replication timing of mammalian genes and middle repetitive sequences. *Science* 224, 686-692 (1984).
8. Holmquist, G. DNA sequences in G-bands and R-bands. En: *Chromosomes and Chromatin*. Adolph, K. W. (Ed.) CRC Press: Boca Raton pp. 76-121 (1988).
9. Holmquist, G. P. Evolution of chromosome bands: Molecular ecology of non-coding DNA. *J. Mol. Evol.* (En prensa. Abril, 1988).
10. Kimura, M. DNA and the neutral theory. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. (Biol.)* 312, 343-354 (1986).
11. Doolittle, W. F. y Sapienza, C. Selfish genes, the phenotype paradigm and genome evolution. *Nature* 284, 601-603 (1980).
12. Orgel, L. E. y Crick, F. H. C. The selfish DNA: the ultimate parasite. *Nature* 284, 604-607 (1980).



Perfiles de investigación

Semblanza de Pedro Joseph-Nathan

El estudio químico de plantas tóxicas y medicinales, como la tullidora y la raíz del pipitzahuac, así como sus contribuciones en el campo de la resonancia magnética nuclear, sitúan al Dr. Pedro Joseph-Nathan como uno de los químicos mexicanos más destacados.



Rosalinda Contreras

Un inicio fulgurante

Pedro Joseph-Nathan inició sus estudios universitarios en marzo de 1959 en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM); se graduó como Químico en julio de 1963 y como Ingeniero Químico en marzo de 1964, ya que cursó ambas carreras profesionales simultáneamente.

Continuó en la misma UNAM sus estudios de posgrado, bastándole dos años para obtener, en marzo de 1966, a la edad de 24 años y con más de una

docena de publicaciones científicas, el grado académico de Doctor en Ciencias Químicas.

Cuando en 1962 solicitó su ingreso al Instituto de Química de la UNAM, su director doctor Alberto Sandoval Landazuri lo recomendó con el doctor Jesús Romo Armería a fin de realizar su tesis de licenciatura. Así entró en el círculo de alumnos de un investigador con sólida formación científica, enamorado de la química de productos naturales y fanático de su trabajo.

El ávido estudiante aprendió allí el "arte de cristalizar", la manipulación de las sustancias, los procesos de la química orgánica..., pero, sobre todo, aprendió a entender y amar la investigación científica.

La Dra. Rosalinda Contreras es profesora titular e investigadora del Departamento de Química del CINVESTAV. Su campo de investigación es la química de compuestos orgánicos del boro y el fósforo.

Este periodo (1962-66) fue fundamental en su formación científica y en la orientación de su futuro trabajo independiente. La calidad y la intensidad de su empeño se reflejan en los numerosos trabajos que publicó en ese lapso (17) y en los que casi concluyó, publicados en el año siguiente.

Gracias al fuerte aval de sus antecedentes académicos, el CINVESTAV no dudó en contratarlo al término de sus estudios, por lo que se incorporó a nuestro Departamento de Química como profesor adjunto en mayo de 1966. Sus rápidos logros lo llevaron, en 1972, a ocupar la categoría de profesor titular.

Durante más de 22 años de asociación ininterrumpida con nuestra institución, se ha dedicado a impartir cátedra al nivel de posgrado y a supervisar a más de medio centenar de estudiantes en la preparación de sus tesis. Con ello ha contribuido a la formación de recursos humanos altamente calificados. En la actualidad muchas de estas personas son profesores en varias instituciones de educación superior de la República Mexicana. Ha formado también personal de otros países de Latinoamérica, a través de la supervisión de tesis y de entrenamientos que han efectuado posgraduados visitantes en su laboratorio.

Joseph-Nathan ha viajado extensamente por muchos países del área latinoamericana impartiendo cursos y seminarios, presentando los últimos avances de sus investigaciones y conferencias plenarias en los congresos latinoamericanos de química y efectuando colaboraciones científicas con colegas de la región. Varios de esos cursos se realizaron por encomienda de la OEA, misma que en 1972 le encargó además la redacción de la Monografía No. 9 de la Serie de Química, que con el título "Resonancia Magnética Nuclear de Hidrógeno" apareció publicada en 1973. La gran aceptación que esta obra tuvo, hizo necesaria una segunda edición, que en forma revisada y aumentada fue publicada bajo el título de "Resonancia Magnética Nuclear de Hidrógeno-1 y Carbono-13".

En otras ocasiones la UNESCO ha solicitado su colaboración para actividades similares. Muchos de estos viajes han contribuido a promover la química orgánica y en particular el estudio de productos

naturales de origen vegetal en los países visitados, como se evidencia de la aparición de publicaciones conjuntas en revistas de alto nivel, efectuadas con sus colegas de Latinoamérica.

Su prestigio científico consolidado en Latinoamérica pronto hizo que fuese llamado a España; además de impartir conferencias, ha establecido también fuertes nexos de colaboración científica que han resultado en publicaciones de sus especialidad, entre las que se encuentran algunas relativas a los constituyentes de plantas tóxicas de las Islas Canarias. También ha impartido conferencias en muchas universidades de la República Federal de Alemania entre las que resalta una conferencia plenaria en el Congreso Principal de la Sociedad Farmacéutica Alemana. El impacto de esta conferencia plenaria fue tan importante, que la revista austriaca *Osterreichische Apotheker-Zeitung* publicó un extenso artículo sobre este acontecimiento.

Reconocimientos académicos

Más allá de la frialdad de los números derivados de la labor académica del Prof. Joseph-Nathan, contenida en su extenso curriculum vitae que incluye más de 150 publicaciones, cabe aquí señalar el amplio reconocimiento que su trayectoria ha tenido en México y en otros países. Destacan entre otros su incorporación como Socio Correspondiente de la Sociedad Química del Perú en 1978; su designación como Profesor Visitante por resolución Superior de la Universidad Nacional del Litoral en Santa Fe, Argentina, en 1983; su incorporación como Profesor Honorario de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos en Lima, Perú, en agosto de 1985 y su incorporación como Académico Correspondiente a la Academia de Artes y Ciencias de Puerto Rico en octubre de 1985. En la revista de esta academia apareció publicado un resumen del trabajo en el que Joseph-Nathan relata los pormenores del aislamiento e identificación del principio tóxico de los frutos de la tullidora. La tullidora es una planta del desierto mexicano que se da desde Sonora hasta San Juan del Río, Qro. Su ingestión produce una parálisis progresiva de las extremidades inferiores hasta el corazón y es capaz de producir la muerte después de algunos días. La mortandad de seres humanos que ha causado en México es conocida desde la época de

la Colonia. Durante la Revolución Mexicana ocasionó grandes pérdidas humanas, y en épocas recientes sigue causando la muerte de otros mexicanos. Es sólo hasta ahora que Joseph-Nathan, colaborando con el Dr. Julio Muñoz, del Departamento de Fisiología, Biofísica y Neurociencias, ha contribuido a esclarecer la estructura química y el principio activo de la tullidora.

Además del título de Profesor Honorario de la Universidad de San Marcos, Perú, que es la universidad decana de América, recibió una medalla alusiva, que se suma a las que ha recibido de la Universidad Central del Ecuador en 1976 y de la UNAM en 1982, que publicó un fascículo intitulado "Pedro Joseph-Nathan, imagen y obra escogida", que resume facetas importantes de su vida.

Sus colegas mexicanos también han reconocido la importancia derivada de su labor académica, otorgándole una serie de premios y reconocimientos, entre los que destacan el Premio Nacional de Ciencias Farmacéuticas "Dr. Leopoldo Río de la Loza" 1974, otorgado por la Asociación Farmacéutica Mexicana; uno de los premios del Fondo para Estimular la Investigación Médico Farmacéutica en México 1975, otorgado por la Cámara Nacional de la Industria de Laboratorios Químico Farmacéuticos; el Premio de Ciencias Exactas 1978 de la Academia de la Investigación Científica; el Premio Nacional de Química y Ciencias Farmacéuticas 1980, otorgado por el Gobierno de México; el Premio Nacional de Química "Andrés Manuel del Río" en el área de investigación 1986, que otorga la Sociedad Química de México; un reconocimiento de la Federación Mexicana de Profesionales de la Química-CNOP-PRI en 1981; un reconocimiento como Profesionista Destacado de la Unión de Asociaciones de Ingenieros en 1982; un reconocimiento por su valiosa aportación científica, que sus compañeros de la generación 1959 de la Facultad de Química de la UNAM le entregaron en 1986; y recientemente el Premio Mexicano de Tecnología IXTA-1987.

La primera patente estadounidense del CINVESTAV

Este último premio, que recibió en julio de 1988, constituye al igual que sus estudios sobre la

tullidora, otro logro espectacular. Fue concedido por sus contribuciones al estudio de nuevos fármacos antihipertensivos, de comprobada efectividad en seres humanos, y en especial el compuesto indorrenato, que actualmente se estudia en el Departamento de Farmacología y Toxicología. Así, se reprodujo en el CINVESTAV el proceso de síntesis patentado originalmente por una industria farmacéutica norteamericana. Una vez dominado, se hicieron modificaciones sutiles en las condiciones de reacción, lográndose triplicar el rendimiento global del fármaco potencial. Además se desarrolló una metodología fotoquímica para marcar la molécula con isótopos, con lo que ahora es posible efectuar estudios metabólicos. Insatisfecho con los logros, Joseph-Nathan planteó una síntesis nueva, que se pudo poner en práctica con éxito, de manera que el costo del fármaco es ahora quince veces inferior al originalmente patentado por la industria farmacéutica de los EUA. Midiendo sus logros a nivel internacional, con dichos resultados Joseph-Nathan obtuvo la patente norteamericana para su proceso. Con ello el CINVESTAV logró su primera patente en ese país, lo cual culminó cinco años de esfuerzo.

Repercusiones

Resulta significativa la repercusión que la obra científica del Profesor Joseph-Nathan ha tenido a nivel mundial. Para indicar solamente algunos ejemplos de como sus profundos estudios sobre la flora mexicana han influido en el desarrollo de la química orgánica contemporánea, baste relatar aquí lo relativo a los constituyentes químicos del género *Perezia* y sus posteriores transformaciones. Hace ya 25 años, cuando Joseph-Nathan era un estudiante, reconoció la importancia de la tradición de la medicina popular mexicana; llevó al Instituto de Química de la UNAM un compuesto que había aislado de la raíz del pipitzahuac en una práctica de laboratorio del curso de fitoquímica que tomaba en la antigua Escuela Nacional de Ciencias Químicas de la propia UNAM, inspirado fundamentalmente en los estudios que sobre esta planta medicinal había efectuado Río de la Loza a mediados del siglo XIX. Bajo la supervisión de su profesor, el Dr. Jesús Romo Armería y con la colaboración de otros investigadores del propio Instituto de Química, después de algunos años de trabajo pudieron reconocer que la sustancia en reali-

dad era una combinación de dos moléculas íntimamente relacionadas entre sí, a las que se designó α -pipitzol y β -pipitzol, mismas que fueron caracterizadas plenamente, determinándose sus estructuras en 1965. En el mismo año fue publicada también la estructura de su precursor biológico, la perezona, que había sido establecida erróneamente en Holanda unos 30 años antes y mencionada además en forma errónea en libros de texto de química orgánica. La perezona o sesquitenpeno, sin duda el primer producto naturalizado en América, se usaba antiguamente en medicina tradicional como laxante. La revisión estructural de la perezona motivó la revisión de la química de esta molécula y de algunos derivados, corrigiéndose algunos otros compuestos en una de las últimas publicaciones que Joseph-Nathan, aún siendo estudiante, efectuara en el Instituto de Química de la UNAM en 1966.

A su ingreso en 1966 a nuestra institución, continuó con ahínco sus investigaciones en el tema y para 1968 apareció publicada su contribución a la química de la perezona en la que aclara definitivamente toda la situación química de la molécula y establece las estructuras de una serie de derivados que se habían obtenido desde 1913 en Inglaterra; el año siguiente publica tanto la conformación de algunas de estas moléculas como su comportamiento óptico para la verificación de la configuración absoluta.

Para 1971, en un trabajo pionero sobre resonancia magnética nuclear de carbono-13 de la perezona y sus análogos, todavía efectuado por el método de acumulación por onda continua, Joseph-Nathan establece que la hidroxiperezona en realidad corresponde al promedio de un equilibrio tautomérico entre dos formas energéticamente equivalentes, situación que hasta entonces sólo había sido reconocida para derivados del benceno. La importancia de este trabajo fue tal que para el año siguiente ya estaba citado en libros de la especialidad. Como consecuencia de lo anterior, decidió estudiar a fondo la química de los derivados de la hidroxiperezona, cuyos resultados publicó en 1974.

Con una serie de trabajos publicados a lo largo de una década, el interés de sus colegas mexicanos sobre el tema se manifestó en el mismo año de 1974, cuando la Sociedad Química de México y la Asocia-

ción Farmacéutica Mexicana le solicitaron que impartiera sendas conferencias plenarias en sus congresos nacionales y le pidieron que escribiera artículos extensos sobre el tema. Convencido de la importancia de los estudios de la transformación perezonapipitzol, para 1977 estableció el mecanismo concertado de la reacción de cicloadición. La trascendencia de este estudio resulta evidente ya que apareció citado el mismo año. Más tarde fue capaz de efectuar esta transformación en forma estereoselectiva, primero hacia el α -pipitzol en 1981 y posteriormente hacia la estereoselectividad inversa, es decir hacia el β -pipitzol, por lo que el estereocontrol puede ser inducido actualmente hacia cualquier dirección deseada.

Como consecuencia de estos logros, hay investigadores de diversos países que se inspiraron en las implicaciones mecanísticas deducidas por Joseph-Nathan para la transformación perezonapipitzol y planearon nuevas e importantes síntesis incluso de moléculas de interés biológico. Algunos investigadores del área biológica han estudiado la actividad de las moléculas que Joseph-Nathan ha aislado del género *Perezia* (Anexo Q) y por otro lado del extranjero le fue cursada la petición de la Editorial Elsevier con sede en Amsterdam, Holanda, para la redacción de un amplio artículo bajo el título "The Chemistry of Perezone and Its Consequences" en la serie de libros denominados "Studies in Natural Products Chemistry". Este trabajo ha sido citado ampliamente.

Así, para 1984 en que se estableció el Sistema Nacional de Investigadores, Joseph-Nathan fue de los químicos que ingresó al nivel máximo, avalado entre otras cosas por 652 citas a sus trabajos. Actualmente cuenta con más de 175 artículos y cerca de mil citas en la literatura mundial.

En reconocimiento a su calidad, ha sido invitado como árbitro de revistas científicas especializadas como *Organic Magnetic Resonance*, *Journal of Natural Products*, *Phytochemistry* y *Journal of Medicinal Plant Research* (Planta Médica). Desde de mayo de 1988 forma parte del Consejo Editorial de la revista *Spectroscopy: An International Journal*.

En el campo de la resonancia magnética nuclear el Prof. Joseph-Nathan es considerado un

experto a nivel mundial. Un simple ejemplo reciente de este hecho se manifiesta por la invitación que recibió para preparar un artículo de revisión sobre la espectroscopía de resonancia magnética nuclear de carbono-13 de indoles. En dicho artículo, Joseph-Nathan fue mucho más allá de lo esperado. En lugar de limitarse a revisar y comentar la literatura sobre el tema, hizo una revisión tan profunda que reasignó una serie de espectros que estaban descritos en forma errónea y por lo tanto aclaró el paisaje sobre este tema, que incluye muchos alcaloides biológicamente activos.

Para terminar esta semblanza, basta decir que Pedro Joseph-Nathan es un investigador estimado en nuestra comunidad. La seriedad y formalidad en su trabajo ha establecido una norma de calidad que estimula a sus colegas y ha dado al Departamento de Química amplio prestigio nacional e internacional. Este Centro lo considera uno de sus mejores valores y se honra con su trabajo, mismo que se espera siga siendo tan brillante como hasta ahora.



La tullidora

A dar forma a este trabajo me ha movido el interés de divulgar las características de un padecimiento que es conocido empíricamente en ciertas regiones del país, y que, en cambio, por falta de conocimiento de su existencia o de sus manifestaciones clínicas, puede no diagnosticarse o confundirse con otras entidades más o menos parecidas. Me refiero a la parálisis que se provoca por la ingestión de frutos de *Karwinskia humboldtiana*, la cual, entre muchas otras voces sinónimas, se conoce vulgarmente como Tullidora Capulincillo y Capulín Tullidor.

A guisa de historia, creo pertinente mencionar que la cita más antigua de que tengo conocimiento respecto a la Tullidora y sus efectos se remonta a mediados del siglo XVIII, tiempo en el que el historiador jesuita D. Francisco Xavier Clavijero recogió los datos que consignara en su *Historia de la Antigua o Baja California*, obra que escribió en Europa después de su expulsión de México, en 1767. Es en ese interesante libro en donde hace referencia al fruto de un arbusto, cuya descripción y efectos se corresponden exactamente con los de la Tullidora, sin que se le dé nombre alguno. A continuación transcribo textualmente lo que se lee en la citada obra de Clavijero: "En varios lugares de la península hay otro arbuso cuyo fruto es redondo, del tamaño de un garbanzo; y negro cuando está maduro. Los indios se abstienen de comerlo porque saben que es muy nocivo; pero como sus chiquillos lo ignoran o nada temen, suelen comerlo instigados por el hambre o la golosina. El efecto que les causa es el de tullirse después de pocos días, y de aquí sobrevienen otros accidentes que al fin les quita la vida; por cuyo motivo han procurado los misioneros exterminar en todas partes aquella planta."

Francisco Padrón Puyón, Estudio clínico-experimental de la parálisis por *Karwinskia humboldtiana* (Tullidora) en niños, Soc. Med. Mex. 8, 299 (1951).

A fines de enero del año de 1916, fueron remitidos a los hospitales militares de Guaymas numerosos enfermos. El número total de las remisiones hechas durante varios días fue de 106; los citados presentaban, principalmente, paresias o parálisis de los miembros inferiores; algunos estaban paralizados totalmente, salvo de la cara y el cuello, y los menos se quejaban de intensa cefalalgia y tenían deposiciones líquidas, abundantes y frecuentes. El día que llegó la primera remisión sucumbieron dos enfermos, y en los subsiguientes diez días se registraron ocho defunciones. Al hacer las indagaciones del caso, supimos que los trastornos referidos eran consecuencia de la ingestión de frutos de tullidora, abundante en la región vecina de Ortiz, donde operaban fuerzas de la Primera Brigada de la Sexta División del Noroeste, a las que pertenecían los enfermos, quienes referían haber comido la fruta citada, durante varios días y en cierta abundancia, pues la juntaban a puñados para luego ingerir algunas de éstas; manifestaban que fueron advertidos de sus peligrosas consecuencias, por los indios mayas de otra fuerza, en vista de lo cual, suspendieron la ingestión de los frutos, y que no fue sino hasta cuatro o cinco días más tarde cuando empezaron a sentir dificultad en la marcha y los subsiguientes fenómenos de parastesia o parálisis.

El 10 de marzo entregué la jefatura sanitaria de las columnas del Yaqui, y salí de Guaymas, no regresando hasta el 1o. de abril, día en que volví a encargarme de la citada jefatura. Durante el mes de marzo habían muerto cuatro tullidos, como se les designaba; en el transcurso del mes de abril sucumbieron cuatro y curaron cinco; en mayo curaron dos y no hubo ninguna defunción. El 25 de este último mes enviamos al Hospital Militar, de Guadalajara a todos los que estaban en buenas condiciones de nutrición, y fuera de los fenómenos paralíticos, no presentaban ninguna alteración. El envío fue hecho por ferrocarril hasta Mazatlán, en uno de los buques de nuestra armada; de este puerto al de Manzanillo, y luego a Guadalajara por ferrocarril. A pesar de la penosa travesía y de la permanencia

algunos días en Manzanillo, llegaron sin novedad a Guadalajara, adonde los enviábamos por creer más adecuado el clima, por suponer que se beneficiarían con un tratamiento electroterápico, del que carecíamos en Guaymas, y por necesitar los hospitales del puerto para los enfermos y heridos de las tropas que hacían la campaña del Yaqui. Los venticuatro que dejamos en Guaymas eran los que, en nuestro concepto, podían sucumbir durante el viaje como sucedió con seis, en el mes de junio; los otros dieciocho fueron también remitidos a Guadalajara, a fines de julio.

Francisco Castillo Nájera, contribución al estudio de las parálisis tóxicas: Un envenenamiento colectivo por Tullidora, Mem. V Congreso Médico Mexicano, 1, 240, Puebla, México (1920).

Con éstos y otros antecedentes, hace unos años, el Doctor Julio Muñoz médico de profesión, universitario de formación y fisiólogo del correspondiente departamento en el Centro de Investigación del Politécnico de México, en el que laboro me planteó la posibilidad de proporcionar una ayuda química al estudio multidisciplinario de los frutos antes mencionados.

... Es, pues, fácil imaginar que fue invertido más de un año en efectuar pruebas en diferentes extractos y pruebas de diversas fracciones de dichos extractos hasta disponer de la información precisa, que permitiera aislar con eficacia la mortal substancia. Fue un año de intenso intercambio de información, de hipótesis y ¿por qué no decirlo? de conjeturas.

Las diversas partes del fruto fueron estudiadas por separado y, para hacer corta una larga historia, diré que el principio activo se encuentra en la cutícula localizada dentro del endocarpo leñoso y fuera de la nuecesilla central. Es decir, tras fino trabajo de separación mecánica se encontró que la cutícula que está dentro del popularmente llamado "huesito", es la fatal. Mientras 2 g/kg de homogenado crudo total representan aproximadamente la dosis letal media, se requiere sólo 750 mg/kg del homogenado de cutículas para producir el mismo efecto.

El estudio químico se centró consecuentemente en esta parte y extractos de diversas polaridades fueron probadas en animales. En contra de lo que *a priori* se pueda suponer en relación con la química de productos naturales, es decir, que la actividad biológica se localiza en extractos polares, fue una nueva sorpresa que extractos etéreos reprodujeran toda evidencia biológica original.

Esta serie de observaciones permitieron diseñar un método para aislar constituyentes químicos individuales. Las cutículas fueron extraídas por maceración a temperatura ambiente, con éter, hasta que el extracto salió incoloro. Los extractos etéreos combinados se evaporaron a sequedad al vacío y el residuo aceitoso, de color café obscuro, se trató con hexano. Esto produjo un precipitado amarillo pardo que se separó por filtración y se lavó con hexano.

Posteriormente, dicho residuo sólido se cromatografió en una columna empacada con gel de sílice. Las primeras fracciones, eluidas con hexano proporcionan, después de la evaporación, un residuo aceitoso incoloro que, al ser analizado por resonancia magnética nuclear de hidrógeno a 60 MHz, resultó ser una grasa del tipo de los triglicéridos, con un peso molecular promedio y un índice de insaturación semejante al del aceite de oliva.

... La ingestión de frutos de tullidora por la presencia del tillidinol en la cutícula que se encuentra dentro del endocarpo leñoso produce una desmielinización progresiva de los axones del sistema nervioso periférico. Esta desmielinización comienza por las extremidades posteriores y va avanzando hasta que alcanza los tejidos neuromusculares del sistema respiratorio, causando la muerte por asfixia. De aquí se derivan algunas conclusiones: La tullidora, sólo se localiza en México y en el sur de los Estados Unidos. Es casi un problema muy nuestro, que causa pérdidas económicas por la mortandad de ganado y, lo que es más grave, provoca la muerte de seres humanos. De estas últimas pérdidas, las últimas de que tengo noticia, ocurrieron al final de 1980.

En cuanto a qué hacer respecto a la pérdida de ganado, lamentablemente aún nada se sabe. No hay, por ahora, un antídoto a esta intoxicación. Pero, en cuanto a salvar vidas humanas, hay dos cosas importantes que hacer.

En las etapas iniciales de la intoxicación de seres humanos, por tullidora, los síntomas son fácilmente confundibles con los de la poliomielitis. La diferencia de modos de acción de ambos casos es importante. Mientras la parálisis infantil es de origen viral e irreversible, la intoxicación por tullidora es de origen químico y, afortunadamente, es reversible, ya que la célula de Schwann, al paso del tiempo puede regenerar la mielina. Por ello es muy importante diagnosticar adecuadamente el padecimiento y no aplicar un tratamiento antiviral a un intoxicado por tullidora. Finalmente, como la intoxicación es reversible y la causa de muerte es el paro respiratorio, es de pensarse que, durante la etapa crítica de intoxicación, el paciente deberá de ser tratado en bomba pulmonar, hasta que la mielina se regenere y recupere a su autonomía respiratoria. Al paso del tiempo deberá también recuperar su movilidad total. Esto sugiere la observación de algunos animales de laboratorio que fueron intoxicados hasta un estado avanzado, pero sin que hubiese sido lo suficiente como para llegar al paro respiratorio.

Pedro Joseph-Nathan, Contribución química al estudio multidisciplinario de la Tullidora (*Karwinskia humboldtiana*), Rev. Acad. Artes y Ciencias de Puerto Rico 2, 19(1987).



Perspectivas

El Consejo Consultivo de Ciencias

El siguiente documento fue presentado por el Dr. Adolfo Martínez Palomo durante la visita que realizó la Comisión de Ciencia y Tecnología de la LIV Legislatura de la Cámara de Diputados al Cinvestav el pasado 11 de mayo.



Adolfo Martínez Palomo

Durante el transcurso de 1988 varios investigadores nos entrevistamos con el entonces candidato a la Presidencia de la República, Lic. Salinas de Gortari, para externarle nuestras opiniones sobre el futuro de la ciencia y la tecnología en el país. Uno de los puntos de coincidencia unánime fue la solicitud de participación de la comunidad científica y tecnológica en la definición de las políticas del sector.

El 24 de enero del año en curso, el C. Presidente de la República acordó crear la Secretaría Ejecutiva

del Consejo Consultivo de Ciencias, como unidad de asesoría y apoyo técnico del Ejecutivo Federal. El Consejo fue constituido por 50 personas que han recibido el Premio Nacional de Ciencias Físicomatemáticas y Naturales, el de Historia, Ciencias Sociales y Filosofía o el de Tecnología y Diseño. De esta forma, todos y cada uno de los miembros del Consejo han pasado previamente por un proceso doble de selección: académica e institucional, ya que el otorgamiento de dichos premios se realiza por recomendación de un comité académico, que es ratificada, o rectificada, por el Ejecutivo.

El Dr. Adolfo Martínez Palomo es profesor titular y jefe de la Sección de Patología Experimental del Departamento de Biología Celular del CINVESTAV. Su campo de investigación es la biología y control de parasitosis humanas.

La Universidad Nacional Autónoma de México quedó representada por 22 de los 50 miembros del Consejo. La institución que le siguió numéricamente

fue este Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, con 11 miembros. De estos últimos, dos de ellos han engrosado recientemente las filas de los talentos fugados al norte. Como medida comparativa, las otras dos grandes instituciones de educación superior e investigación del Distrito Federal, la Universidad Autónoma Metropolitana y el Colegio de México, cuentan, cada una de ellas, con un miembro en el Consejo.

Las funciones del Consejo Consultivo de Ciencias (o triple C, como empieza a ser conocido en los corrillos burocráticos), son cuatro:

- 1) canalizar las aportaciones de la comunidad científica a la planeación del desarrollo nacional;
- 2) desahogar las consultas que le plantee el Ejecutivo Federal en asuntos de interés científico;
- 3) realizar estudios respecto de la elaboración, seguimiento y evaluación de programas científicos;
- 4) las demás que sean congruentes con las finalidades del Consejo y las que sugiera el Titular del Ejecutivo Federal.

Este conjunto de investigadores, que califiqué como "grupo de solistas que deberán aprender a cantar a coro" ha trabajado durante tres meses y hace tan sólo dos días presentó sus primeras recomendaciones al Presidente de la República.

El Consejo ha considerado la conveniencia de realizar inicialmente acciones tendientes a limitar el deterioro acelerado de las actividades de ciencia y tecnología, consecuencia tanto de la crisis económica, como de la ausencia de una verdadera política científica y tecnológica. El desaliento, la fuga de talentos, la no reincorporación de investigadores jóvenes, los salarios raquíticos, la ausencia casi total de presupuestos para equipamiento y para intercambio académico, son algunos de los problemas que se han acentuado. En 1986 advertí que el barco de la ciencia se estaba yendo a pique. Dos años después solicité una transfusión de urgencia para la ciencia. El deterioro ha continuado en ascenso y la comunicación fue casi nula. Hoy, la creación del Consejo permite, desde el inicio, transmitir nuestras inquietudes y recomendaciones en forma efectiva al más alto nivel.

Las primeras recomendaciones impostergables del Consejo incluyen dos grupos urgentes: unas, no inciden directamente en el presupuesto; las otras, sugieren incrementos sustanciales al financiamiento de la ciencia y la tecnología. Entre las primeras recomendaciones se encuentran: el desarrollo de una campaña de "concientización" para otorgar a la ciencia y a la tecnología la prioridad que requieren como instrumentos de desarrollo y el establecimiento de comunicación efectiva entre las dependencias gubernamentales involucradas, para lograr, entre otros objetivos, información confiable y oportuna sobre el estado actual de la ciencia y sobre la magnitud real y las características del presupuesto federal para el sector. Además, se sugieren mecanismos para facilitar la importación de insumos para la investigación y el establecimiento de estímulos fiscales. Por supuesto, se recomendó también la participación activa de investigadores y usuarios en la definición de programas de investigación científica y desarrollo tecnológico.

Las recomendaciones relativas al presupuesto fueron:

- 1) La sugerencia de triplicar el apoyo a proyectos de investigación de calidad.
- 2) Aumentar en términos reales la remuneración de los investigadores, ya que, incluyendo las becas del Sistema Nacional de Investigadores, el salario se ha deteriorado cuando menos en 50% respecto al de 1976 y
- 3) El establecimiento de un sistema de becas para técnicos académicos y personal de apoyo equivalente.

Es pronto para poder cantar victoria, ya que el Consejo no ha logrado aún una acción concreta, excepto, tal vez, la más importante a largo plazo: el establecimiento de un mecanismo permanente de diálogo entre el Presidente de la República y la comunidad científica. En términos de la comunicación efectiva entre uno y otros, en los últimos cuatro meses, se ha avanzado más que en las últimas cuatro décadas.

Queda, pues, margen para ser optimistas.



Los criterios de evaluación del Cinvestav en relación con los departamentos de ingeniería

Juan Luis del Valle Padilla

Después de más de 25 años, nuestra institución continúa afinando los criterios para la evaluación de la actividad de su personal académico. Hasta 1980, los criterios de promoción y reconocimiento institucional estuvieron basados en apreciaciones de juicio de los jefes de departamento, avaladas por el director del Centro. Desde 1980 a la fecha, con la creación de la Comisión de Promoción y Becas de Exclusividad y Productividad (COPBEP), la actividad de evaluación se hizo elaborada, transfiriéndose la decisión de juicio del jefe del departamento a dicha comisión.

Una primera consecuencia de esta situación fue la disminución de la autoridad de los jefes de departamento en su papel de motivadores directos del desempeño eficiente de sus profesores. Por otra parte, los criterios de evaluación de la COPBEP pretendieron proporcionar una base uniforme de carácter institucional para todos los departamentos del Centro. Estos criterios iniciales estuvieron basados fundamentalmente en los criterios que promovían los departamentos de investigación básica del Centro. Criterios que estaban respaldados por el aval de los comités editoriales de revistas especializadas de carácter internacional y la motivación básica de la investigación científica: la difusión universal de sus resultados y el reconocimiento de sus logros y calidad.

Si bien los criterios antes mencionados satisfacen los deseos de objetividad e imparcialidad de la mayoría de los profesores del Centro--aquellos que pertenecen a los departamentos de tradición e infraestructura científica--sin embargo forzaban la dirección del resto de profesores pertenecientes a los departamentos de Ingeniería Eléctrica, Biotecnología, Matemáticas Educativas, Investigaciones Educativas, las secciones de Servicio y algunos grupos de profesores de las unidades foráneas del Centro con responsabilidades regionales de investigación aplicada o tecnológica.

Actualmente se reconocen en nuestra institución tres tipos de actividades académicas: las correspondientes a las ciencias básicas, las de ingeniería y las de ciencias sociales. Hay un denominador común a estas actividades: la enseñanza de posgrado. Es un hecho, que ha sido demostrado con éxito en el Centro, que la educación científica o especializada rinde mejores frutos cuando ésta es impartida por profesores activos en los campos de la investigación y en un ambiente propicio para el desarrollo de estas actividades. Sin embargo lo que no es común en nuestras actividades, merece reflexión.

Cuando realizamos nuestra función como profesores no solamente buscamos desarrollar una aptitud en nuestros estudiantes, sino también inculcar una actitud ante los problemas que les planteará el ejercicio profesional de su actividad. La ingeniería es una actividad que se apoya en el conocimiento científico para satisfacer necesidades básicas de la

El Dr. Juan Luis del Valle Padilla es profesor titular e investigador de la Sección de Electrónica del Estado Sólido del Departamento de Ingeniería Eléctrica del CINVESTAV. Actualmente realiza una estancia sabática en la empresa Motorola de Guadalajara, Jal.

sociedad moderna: energía, informática, materiales, comunicaciones, etc., por medio de procesos, de dispositivos, de sistemas. Esto es, es una actividad que transforma el conocimiento científico en conocimiento tecnológico. Su interacción con el conocimiento científico, universal, encuentra su especificidad en las demandas de una sociedad. Es esta característica de una interacción más cercana, de más corto plazo con la sociedad, lo que diferencia una actividad de ingeniería de una de investigación científica.

Debido a la complejidad de los problemas que resuelve, la ingeniería es en general una actividad de grupo en la que se comparte un objetivo común. Esto favorece la división del trabajo y la demarcación de responsabilidades. El objetivo de la actividad en ingeniería no es la difusión universal del conocimiento obtenido como en la actividad de la investigación científica, sino el logro del objetivo mismo de la meta señalada: un sistema más eficiente, un proceso más económico, un código más rápido, un dispositivo más confiable. La documentación del trabajo, los informes de avance, la planeación del trabajo futuro, todo esto es necesario, pero no es el propósito fundamental.

Un ingeniero es un agente de transformación, parte de una situación específica para llegar a otra deseada, con restricciones socioeconómicas a las posibles soluciones. Por otra parte, los intereses primordiales de un investigador científico son la validez de sus teorías, la reproducibilidad de sus experimentos y lo adecuado de sus métodos para observar los fenómenos naturales, y lo que es más importante para él, la comunicación de sus descubrimientos por medio de artículos y publicaciones diversas.

Se podría cuestionar, y así se ha hecho, que una actividad de ingeniería no debería tener lugar en el Centro o en la Academia; que existirían organismos más apropiados como los institutos, o más naturales como la industria y los servicios. Sentimos que no es un cuestionamiento válido. Necesitamos formar generaciones de estudiantes que estén motivados por mejorar el nivel de nuestras instituciones, que se propongan crear nuevas y mejores, que abran el campo de la verdadera ingeniería en nuestra industria, una ingeniería con bases científicas y que

den valor a su actividad profesional. Así como los investigadores científicos forman investigadores, los ingenieros siguen siendo las personas más adecuadas para educar ingenieros.

Con el transcurso del tiempo, la COPBEP ha mostrado interés en proponer criterios nuevos de evaluación a la comunidad académica del Centro, que respondan más equitativamente a las motivaciones específicas de sus distintas actividades. Los criterios actuales son una muestra de esta preocupación de la Comisión.

Tuve la oportunidad de participar en la COPBEP cuando la presidieron Jorge Aceves y Augusto García. Fue durante este período en el que se discutieron a fondo los criterios de evaluación del sector tecnológico del Centro. La participación de Enrique Hong y Mayra de la Torre enriquecieron los debates. Las proposiciones que el sector tecnológico había hecho, fueron analizadas y aplicadas a casos particulares con el fin de encontrar un balance, tanto cuantitativo como cualitativo, que los hiciera equiparables a los criterios más maduros del área científica del Centro. Reconociendo que la base científica juega un papel importante en los temas de desarrollo tecnológico, fueron decididos criterios cualitativos mínimos de base científica (trabajos originales en revistas de reconocimiento internacional), que deberían cumplirse en las diferentes categorías; el complemento a estos criterios fueron los propios al desarrollo de tecnologías: el proyecto de innovación tecnológica y el de ingeniería en sus niveles de gerencia. El requisito de poseer el grado de doctor para acceder a la categoría de profesor adjunto fue mantenido, aun cuando Augusto García promovió con entusiasmo la posibilidad de obtener este doctorado con base en los trabajos realizados en el Centro con reconocimiento de excelencia y bajo los criterios académicos transparentes del mismo. Esta iniciativa debería abrir, así lo juzgamos entonces, una vía a los profesores auxiliares del Centro con un curriculum y experiencia equiparables a un estudiante de doctorado de reciente graduación; además, sería una forma de reconocer y motivar a los profesores-investigadores del Centro, que aun siendo maestros en Ciencias habían mostrado ampliamente su capacidad profesional. Por otra parte, esta iniciativa complementaba la de otorgar facilidades para realizar los estudios de Doctorado en el Centro a los

profesores auxiliares, con compromisos académicos bien definidos y acotados en el tiempo, propuesta por el Dr. M. V. Ortega. Dicha oportunidad debió discutirse caso por caso. En algunos, este compromiso se condicionó a peticiones de promoción a la categoría de profesor adjunto o de otro nivel. Hay que mencionar que este tipo de apertura académica hacia los profesores auxiliares y profesores distinguidos sin título académico de doctor, es promovido por los jefes de departamento, con acuerdo de los colegios de profesores correspondientes, ante las autoridades académicas del Centro. La Comisión, en todo caso, juzga únicamente la productividad del investigador.

En relación a la cuantificación del trabajo en los departamentos y secciones del área tecnológica y de Ingeniería del Centro, se buscó reconocer y promover el trabajo de grupo con base en proyectos de ingeniería y de desarrollo tecnológico. Es responsabilidad de un jefe de proyecto promover, planificar, organizar, ejecutar, controlar y evaluar los aspectos específicos de un proyecto. La duración del proyecto depende de los objetivos del mismo y de la cantidad de recursos asignados. En ocasiones la magnitud del proyecto es tal, que es necesario crear y/o adecuar instalaciones especiales, de naturaleza diversa a las de apoyo a la investigación científica. O bien líneas piloto, en las que puedan realizarse experimentos cuasiindustriales de naturaleza estadística, que aseguren la reproducibilidad de los resultados y puedan definirse las causas de variabilidad comunes (estocásticas) a los procesos y productos.

Una labor esencial del jefe de proyecto en el Centro es la de motivar a un grupo de investigadores para realizar un objetivo común. ¿De qué manera convencerlos, si el proyecto es de ingeniería o de desarrollo tecnológico? ¿Si el objetivo principal no era o no es el de desarrollar las bases del conocimiento científico, sino el del conocimiento tecnológico o el de ingeniería? ¿Si no pueden garantizarse, dada la naturaleza del proyecto, un número suficiente de publicaciones en revistas de prestigio internacional?

Pensamos que los criterios con que el Centro debiera motivar la labor de innovación tecnológica en su planta de profesores, es reconociendo esta actividad de manera equiparable con aquella de la investigación científica. Así podría ser equiparable

la labor de realización de un proyecto de ingeniería complejo, con la apertura de una línea de investigación científica productiva. En los dos casos se adquiere un conocimiento necesario, cuyo producto es en un caso el proceso o sistema eficiente y manufacturable y en el otro el artículo científico. El denominador común sigue siendo la calidad. Siendo diferente la naturaleza del trabajo de ingeniería, deberían reconocerse las actividades de diseño, de síntesis, comparables a las del análisis científico, las memorias de cálculo de plantas o de procesos cuasiindustriales, el desarrollo de dispositivos originales.

La fórmula que propusimos para cuantificar la labor de los jefes de proyecto y personal involucrado es una fórmula que corresponde a la puntuación típica que pudiera tener un investigador científico del Centro de buena productividad científica, en un lapso de tiempo equiparable al de un proyecto complejo. Los parámetros son aquellos concernientes al grado de participación, al de responsabilidad, de cumplimiento y la calidad de los resultados. No es una fórmula que se aplique en la industria. Sin embargo, tanto la fórmula como los criterios aplicables en el área tecnológica del Centro son equiparables a los criterios de evaluación del trabajo de los investigadores del Instituto de Investigaciones Eléctricas, excluyendo las áreas de enseñanza y formación de personal, que son exclusivas del Centro.

Finalmente, quisiera referirme al problema de evaluación de los profesores auxiliares del Centro, sector que forma una parte importante de su personal académico. Creo que es importante definir en el estado actual de las cosas, si la posición de profesor auxiliar es una posición terminal, esto es, si existe un futuro académico dentro del Centro para ellos, con el cual puedan contar a fin de planear su desarrollo profesional. En su caso, esto es una cuestión trascendente que no se ha resuelto; parecería ser que un profesor auxiliar no debería serlo por largo tiempo. ¿De qué sirve evaluarlos, si la acumulación de puntos, bajo los mismos criterios que la planta de profesores doctorados, está limitada de 30 a 55 puntos? ¿Cuál es la motivación para su superación? Las vías a la obtención del doctorado podrían ser una opción; no obstante, como diría el filósofo francés Emile Chartier: "Nada es más peligroso para la resolución de un problema, que tener una sola idea".

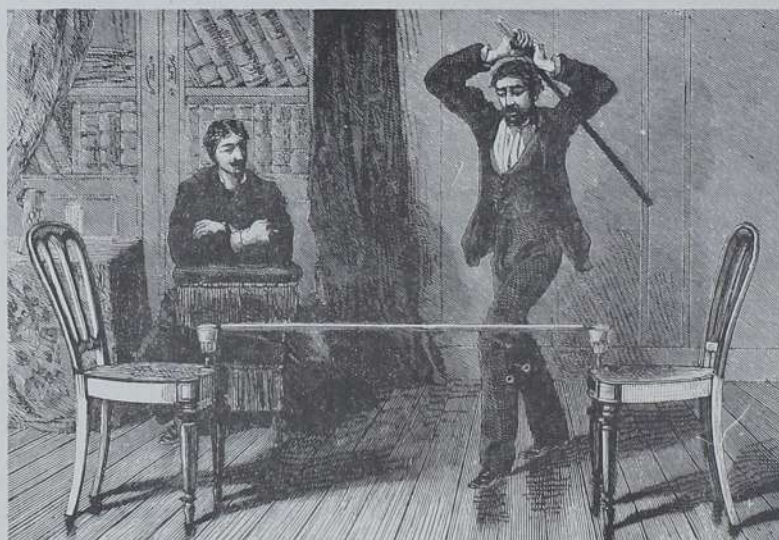




documentos

La crisis económica del país: El futuro del Cinvestav y del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología

Documento dirigido por la Unión del Personal Académico del CINVESTAV (UPAC) a la Comisión de Ciencia y Tecnología de la LIV Legislatura de la H. Cámara de Diputados



México reconoce a lo largo de su existencia el valor universal del conocimiento y los beneficios que aporta al bienestar del hombre a través de sus aplicaciones tecnológicas. El desarrollo del país será realidad si se tienen los medios de generar el primero y producir las segundas. A su vez, el deseo de mantener relaciones con otros pueblos, basadas en la equidad, será posible si se tienen niveles científicos,

tecnológicos y culturales equivalentes. Por ello el país realiza esfuerzos para integrar un Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología, desafortunadamente insuficientes y no siempre bien comprendidos, pero que han puesto los cimientos para la incorporación del país a la modernidad. Por lo tanto, es normal y natural que estos esfuerzos continúen y se amplíen, estableciendo una estrategia nacional que los articule y vincule a la realidad nacional.

Documento elaborado por los Dres. E. Frixione, R. López Revilla, A. Escobosa, J. Mimila, L. A. Torres, J. L. Reyes, C. Falcony, Dra. O. Rojas y Dra. D. Muñoz.

Como parte de estos esfuerzos, el Gobierno Federal creó hace apenas 28 años el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) del I.P.N. Esta institución

se dedica exclusivamente a la formación de recursos humanos de alto nivel académico, a la investigación científica y al desarrollo tecnológico que el país requiere para satisfacer algunas de sus necesidades. Desde su inicio, el CINVESTAV creó y ha mantenido una reputación de excelencia a nivel nacional e internacional. Los temas de investigación que en él se cultivan han hecho escuela en el país y sus logros también interesan seriamente a la comunidad científica internacional. Esto ha generado numerosos convenios de colaboración con instituciones de renombre, a través de científicos distinguidos, algunos laureados con el Premio Nobel. Por la trascendencia y magnitud de sus investigaciones y sobre todo por su productividad, el CINVESTAV y su profesorado han recibido el reconocimiento oficial.

No obstante el tamaño comparativamente pequeño de su planta académica, el CINVESTAV ha graduado a 228 Doctores y 1,118 Maestros en Ciencias; su eficiencia en la formación de investigadores y profesores de posgrado no tiene paralelo en el país. La calidad de sus egresados es valorada por la demanda inmediata de sus servicios en universidades, institutos y empresas nacionales, donde en general fungen como directores y promotores de grupos de investigación, y por la facilidad con que son admitidos para incorporarse temporal o definitivamente en instituciones extranjeras de primera línea. Como una extensión de este esfuerzo por promover el desarrollo científico y tecnológico nacional, el CINVESTAV se ha dirigido hacia el interior del país creando nuevas unidades en las ciudades de Irapuato, Mérida y Saltillo, y destacando investigadores que propicien la formación de grupos de científicos en las ciudades de Guadalajara, Guanajuato y Tlaxcala. La trascendencia de esta proyección y su repercusión en todo el país no tiene igual cuando se le compara con otras instituciones similares a la nuestra.

Las instituciones que realizan las actividades de investigación científica y desarrollo tecnológico tienen gran importancia estratégica para el desarrollo del país. A pesar de ello, éstas y el CINVESTAV enfrentan actualmente la crisis más grave de su historia, crisis que se deriva de la política nacional seguida por el Gobierno Federal al reducir drásticamente los recursos destinados a educación y en especial a la investigación y al desarrollo tecnológico. Durante el Porfiriato, se asignó el 6.7% del presupuesto federal a educación y obtuvo un mayor apoyo (28.2%) durante el mandato del Lic. Luis Echeverría. Luego, en el sexenio del Lic. Miguel de la Madrid, se redujo notoriamente el presupuesto a 6.1%. En el presente año, la situación se ha empeorado, ahora sólo contamos con el 5.6%. En consecuencia, el dinero que recibe el CINVESTAV corresponde al 62% del que tenía en 1972, sin tomar en consideración que desde su creación la institución cuadruplicó el número de investigadores. México destina a la investigación entre 0.2 y 0.55% del Producto Interno Bruto, PIB (según la fuente), lo cual contrasta marcadamente con el apoyo que reciben los países del Primer Mundo. Ellos han reconocido el valor inmenso que se deriva de aplicar una política científica, tecnológica y cultural acorde con los desafíos que impone la

realidad actual. Los datos disponibles indican que la URSS invierte el 4.6% del PIB en ciencia y tecnología; Estados Unidos de Norteamérica el 2.4%; Inglaterra el 2.2%; Japón el 2.1% y Francia 2.0%. La comparación más pertinente es con otros países del Tercer Mundo, que tienen características socioeconómicas similares a las de México. Así, Brasil con una crisis económica y una deuda externa de igual magnitud a la nuestra, invierte el 0.8% del PIB en investigación, lo cual resulta en el desarrollo industrial más importante de América Latina. Cuba, utilizando un porcentaje similar, está resolviendo muchos de los problemas tecnológicos que padece. Corea del Sur, que se perfila como una potencia económica, destina el 2% del PIB para la investigación.

Para que México logre en el futuro un desarrollo progresivo, se requiere diseñar una estrategia científica en la que se incorpore la investigación científica y tecnológica a las actividades nacionales y que comprenda periodos mayores que los sexenales. Esto exige que se invierta al menos el 2% del PIB durante un tiempo razonable. La planificación debe contemplar la participación real de las comunidades científica e industrial y organismos del estado rectores de la ciencia y de la tecnología.

En el CINVESTAV, como en otras instituciones equivalentes, la falta de apoyo económico y de una planificación integral de la actividad científica y tecnológica ha generado una aguda crisis cuyas principales manifestaciones son: primero, una injusta e insignificante remuneración económica de la actividad científica, provocando que parte del personal académico opte por alternativas de empleo fuera del ámbito científico y tecnológico, o bien, por las que en este rubro ofrecen los países desarrollados. Además, las nuevas generaciones encuentran poco atractiva esta actividad, lo que redundará en una disminución sensible de la matrícula del posgrado. Segundo, una grave reducción de las actividades de investigación en curso, y una falta de atención a las nuevas líneas científicas de relevancia que en este momento están surgiendo en el ámbito internacional. Tercero, la situación actual limita falsamente la participación de la comunidad científica y tecnológica en el desarrollo del país.

Los efectos de la crisis han trastornado profundamente el sistema científico y tecnológico nacional, y el CINVESTAV no ha sido una excepción. A pesar de los exigentes requerimientos curriculares para el ingreso y promoción de los profesores, y de la extensión de responsabilidades de éstos a la esfera administrativa (conseguir financiamiento externo para la investigación, coordinar el manejo de los fondos, etc.), ha ocurrido una sensible disminución en su nivel de vida. Inicialmente el CINVESTAV ofrecía salarios mejores que los de cualquier institución del Sistema de Educación Superior, los cuales favorecieron su rápido desarrollo. Sin embargo, esta situación se ha deteriorado paulatinamente hasta llegar a extremos aberrantes. Tomando como base el salario mínimo, los sueldos de los investigadores del CINVESTAV se han reducido al punto de que en la actualidad representan menos de la mitad de los de 1972. Esta depre-

ciación es también relativa, pues otras actividades que requieren una menor preparación profesional son en general mucho mejor pagadas. Además, la reducción salarial real es mayor que la que resulta de la comparación con el salario mínimo, ya que en el sexenio pasado éste perdió la mitad de su poder adquisitivo. Las becas de exclusividad del CINVESTAV y las del Sistema Nacional de Investigadores, además de no ser de aplicabilidad general, son paliativos que en conjunto representan alrededor del 50% del salario base de la mayoría de los investigadores; estas medidas no permiten mantener competitivos los ingresos de los académicos mexicanos en el marco internacional e implican inseguridad para los que están en edad de jubilación, puesto que son canceladas al término de la actividad regular. En consecuencia, no pocos investigadores han decidido emigrar al extranjero, donde tienen mayores ingresos y facilidades para realizar su trabajo, o han cambiado sus actividades profesionales para solventar sus necesidades económicas. No es de sorprender que exista un científico por cada 20,000 habitantes en México, contra 40 a 60 en los países industrializados.

Es igualmente preocupante que dentro del presupuesto asignado al CINVESTAV la porción dedicada a infraestructura y gastos de operación se ha reducido drásticamente manteniendo únicamente el pago de salarios en las condiciones ya descritas. De esta forma, en 1983, infraestructura y operación representaron el 38% del presupuesto, mientras que en 1988 fueron el 20% del mismo.

La inversión nacional en educación científica y tecnológica fructifica a mediano y largo plazo, y su recorte temporal tiene consecuencias graves aunque no sean detectadas de inmediato. Desde hace más de 6 años se ha impuesto un régimen de austeridad ante circunstancias excepcionales de falta de recursos, pero la prolongación de esta situación ya ha afectado seriamente a la comunidad científica. De continuar así, el país sufrirá el desmantelamiento del sistema de investigación y desarrollo tecnológico.

La revitalización de los actuales componentes del Sistema Nacional de Ciencia y Tecnología debe iniciarse a través del apoyo decidido a esas instituciones y a los investigadores que laboran en ellas. Por consiguiente, respetuosa y firmemente solicitamos a la Comisión de Ciencia y Tecnología de la LIV Legislatura de la H. Cámara de Diputados, que con urgencia intervenga para que se atiendan los siguientes

puntos, los primeros de orden nacional y los últimos de orden particular al CINVESTAV:

- 1) Que se elabore una estrategia que incorpore la investigación científica y el desarrollo tecnológico a las actividades en las que la nación basa su desarrollo. Esta estrategia deberá contemplar un apoyo sostenido que no se limite a un periodo sexenal y atender aspectos no sólo aplicados a corto plazo, sino también de desarrollo (mediano plazo) y de investigación básica a largo plazo.
- 2) Que se duplique el porcentaje del PIB destinado a la investigación científica y al desarrollo tecnológico y que se establezca una tendencia creciente de esta inversión en los términos ya solicitados en este documento.
- 3) Que se le ofrezca a los diferentes organismos rectores de la actividad científica y tecnológica las condiciones para que establezcan un compromiso nacional para generar una estrategia de desarrollo científico y tecnológico nacionales y su ejecución adecuada. Para esto se deberá implementar un medio de comunicación realmente efectivo con la comunidad científica, de tal suerte que ésta se pueda manifestar abiertamente ante dichos organismos.
- 4) Que las instituciones de investigación científica y desarrollo tecnológico queden exentas del IVA y otros gravámenes.
- 5) Que se conceda a esas instituciones un tratamiento salarial adecuado, creando el tabulador necesario, que en este momento no existe y la mejora de prestaciones (como fondo de ahorro, jubilación activa y otras) para hacerlos competitivos respecto a otras instituciones.
- 6) Que se elimine a la brevedad posible, mientras se atienden los puntos anteriores, el impuesto sobre productos del trabajo al personal académico.

Los profesores de la Unión del Personal Académico del CINVESTAV ofrecen su decidida colaboración a la Comisión de Ciencia y Tecnología de la LIV legislatura de la H. Cámara de Diputados para impulsar a nuestra institución y al desarrollo científico y tecnológico de México. Al mismo tiempo declaramos nuestra decisión firme e irrenunciable de defender activamente los intereses académicos del CINVESTAV y sostenerlo como una fuente de trabajo digna.

Atentamente,



Por la Mesa Directiva de la UPAC
Dr. Carlos Argüello
México D.F. a 10 de mayo de 1989.

Un joven científico de grandes pasiones

Semblanza del Dr. Eusebio Juaristi durante la entrega de los premios 1988 de la Academia de la Investigación Científica, A.C., a cargo de la Dra. Rosalinda Contreras Theurel



Fotografía de Pedro Hiriart

*Sr. Presidente de México, Lic. Carlos Salinas de Gortari,
Honorables miembros del Presidium,
Colegas y amigos.*

Es un placer y un orgullo presentar al Dr. Eusebio Juaristi y Cosío, uno de los investigadores distinguidos con el Premio de Ciencias Exactas de la Academia de la Investigación Científica, 1988.

Quiero presentarlo como un hombre de grandes pasiones. Una de ellas es la química, una ciencia que desgraciadamente no tiene una presencia importante en este país, a pesar de ser la columna vertebral del desarrollo científico e industrial de los países más avanzados. Hoy, nos alegra que la comunidad científica haya decidido premiar la tarea de este distinguido científico mexicano destacando su interés por esta disciplina.

Eusebio Juaristi hizo sus estudios de licenciatura en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey y su Doctorado en Química en la Universidad de Carolina del Norte. Seducido más tarde por las enormes posibilidades que los Estados Unidos

La Dra. Rosalinda Contreras Theurel es profesora titular e investigadora del Departamento de Química del CINVESTAV. Su principal interés gira en torno a la química de los compuestos orgánicos del boro, fósforo y aluminio.

ofrecen a los jóvenes científicos, continuó adquiriendo experiencia y conocimientos en dos trabajos postdoctorales, uno, en Berkeley, California, otra universidad de gran prestigio, y más tarde en la división de diagnóstico de los laboratorios Syntex, también en California.

En este momento, podemos hablar de otra pasión de Eusebio Juaristi, su país. Pudo escoger como muchos otros, un empleo bien remunerado, en un lugar tranquilo, con todos los recursos y las facilidades para hacer ciencia. Sin embargo, prefirió regresar a México y enfrentarse a muchas carencias y dificultades. Hoy premiamos su afán y su entereza.

Eusebio Juaristi ha hecho su trabajo científico principalmente en México, en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Es autor de decenas de artículos de investigación en el área de la estereoquímica y de la fisicoquímica orgánica, ha sido pionero y líder mundial del estudio del efecto anómérico en los elementos del segundo período de la tabla periódica; además, realiza un excelente trabajo en la síntesis orgánica asimétrica. Es un científico que busca los conocimientos fundamentales, que en química significa preparar el camino para que otros cosechen. Su trabajo consiste en encontrar las razones y explicaciones a la estructura molecular, sus resultados permiten conocer y predecir la forma de las moléculas, y se aplican en muchos campos, por ejemplo en las moléculas de interés biológico al comprender el comportamiento y la estructura de azúcares y polisacáridos. En otro aspecto sus resultados apuntan a la síntesis quiral de aminoácidos, moléculas fundamentales en los edificios biológicos y en la alimentación. Eusebio tiene en estas líneas de investigación un liderazgo mundial. Por sus trabajos ha sido citado en la prensa científica internacional cerca de cuatrocientas veces, es a menudo invitado a dar conferencias en universidades europeas y americanas y ha sido invitado por la Universidad Wesleyan como conferencista distinguido José Gómez Ibañez.

Pero lo anterior no es, a mi juicio, lo más importante del trabajo de este investigador. Queda todavía por hablar de otra de sus pasiones. Eusebio ha sabido sobreponerse a las muchas dificultades de los investigadores mexicanos, ha olvidado los bajos salarios y presupuestos, la excesiva carga administrativa y burocrática y se ha dedicado con extraordinaria fe a su vocación de maestro.

Ha recorrido las universidades mexicanas estimulando a los jóvenes estudiantes por la carrera científica.

Entre sus artículos especializados ha sabido guardar el tiempo para escribir libros de texto para las licenciaturas en química. Y ha contagiado su amor por la química a sus numerosos alumnos, de los cuales ha graduado a treinta y tres. Ya, otra docena de nuevos estudiantes rodea su mesa de trabajo en la junta semanal. Estudiantes procedentes de las escuelas de química de Oaxaca, Sinaloa, Jalapa, Puebla, San Luis Potosí, Toluca, Yucatán, Celaya, Chihuahua, Tlaxcala, UNAM, Coahuila, Morelia, Guadalajara y Politécnico. Muchos de ellos ahora continúan su doctorado o su posdoctorado en las mejores universidades extranjeras; otros están trabajando en la industria o en las universidades mexicanas. La preparación de nuevos investigadores es tal vez una de las tareas que más reconocimiento merecen y de las cuales México tiene más necesidad, el número de químicos bien preparados es muy pequeño y nuestro futuro industrial depende de ellos.

Eusebio cree en los jóvenes, cree en México y piensa como muchos otros de sus colegas que éstos son mejores días para los científicos y para la educación. El piensa que hay una gran conciencia de que no se puede abandonar el cultivo de la inteligencia, que es el único motor del desarrollo del país. El sabe que las autoridades educativas y científicas de México tienen entre sus metas prioritarias hacer su mejor esfuerzo para impulsar la química y por mejorar la calidad de las escuelas de química y de sus estudiantes.

Y ésa, pienso yo, es su mejor recompensa.





noticias del centro

La Dra. Patricia Talamás Robana recibió el Premio Weizmann 1988 en Ciencias Naturales

La Academia de la Investigación Científica (AIC) entregó el Premio Weizmann 1988 en Ciencias Naturales a la Dra. Patricia Talamás Robana, Profesora Auxiliar de la Sección de Patología Experimental del Departamento de Biología Celular, quien realiza actualmente una estancia posdoctoral en la Universidad de Nueva York, EUA. Este premio está patrocinado por la Asociación Mexicana de Amigos del Instituto Weizmann y la AIC; se otorga a las mejores tesis doctorales en las áreas de las ciencias exactas y naturales que sean realizadas en México por estudiantes menores de 35 años. Cada año se otorgan tres premios Weizmann, dos en ciencias exactas y uno en ciencias naturales.

La tesis de doctorado de la Dra. Talamás Robana se titula "Estudio de la interacción de *Entamoeba histolytica* con fibronectina, un componente de la matriz extracelular" y estuvo dirigida por la Dra. Isaura Meza, actual Jefa del Departamento de Biología Celular. Los Premios Weizmann 1988 en Ciencias Exactas se otorgaron al Dr. Han Ping Hong, de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, y a la Dra. Sofía Elizabeth Acosta Ortiz, del Instituto de Física de la UASLP. La tesis de la Dra. Acosta Ortiz fue dirigida por el Dr. Alfonso Lastras, quien obtuvo su doctorado en el Departamento de Ingeniería Eléctrica del CINVESTAV y formó parte de la planta de profesores de nuestro Departamento de Física de 1979 a 1985.

Esta es la primera vez que una graduada del CINVESTAV obtiene este premio en el área de las ciencias naturales. En dos ocasiones anteriores, el CINVESTAV recibió los cuatro premios concedidos en el área de las ciencias exactas: en 1986 lo obtuvieron el Dr. José Luis Arauz Lara (Física), con una tesis dirigida por el Dr. Magdaleno Medina Noyola, y el Dr. Rolando Cavazos Cadena (Matemáticas), con una tesis dirigida por el Dr. Onésimo Hernández Lerma; en 1987 lo obtuvieron el Dr. Gabino Torres Vega (Física), con una tesis dirigida por el Dr. William A. Wassam, y el Dr. José Norberto Farfán García (Química), con una tesis dirigida por la Dra. Rosalinda Contreras.



Notas breves

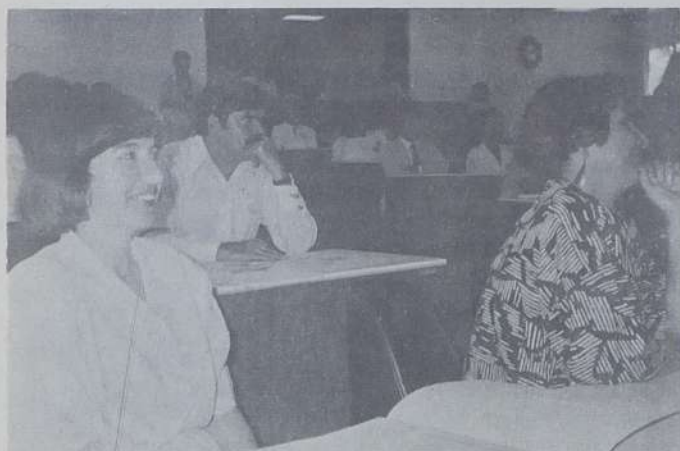


Tres profesores del CINVESTAV ingresaron como nuevos miembros regulares de la Academia de la Investigación Científica el pasado 6 de abril. Ellos son: **Dr. Rodrigo Huerta Quintanilla**, del Departamento de Física; **Dr. Enrique Hong** y **Dra. Marisabel Mourelle Mancini**, ambos del Departamento de Farmacología y Toxicología.



La Universidad de Buenos Aires (UBA), Argentina, y el CINVESTAV firmaron un convenio general de intercambio académico. Dentro de este convenio se establecieron dos primeros proyectos de colaboración. En el primero de ellos participan el Centro de Estudios Avanzados (CEA) de la UAB y el Departamento de Investigaciones Educativas (DIE) por parte del CINVESTAV; el objeto principal de este proyecto es fomentar la formación de

La Dra. Rossana Arroyo Verástegui obtuvo el Premio Lola e Igo Flisser



un grupo de investigación sobre psicogénesis de la lengua escrita. La Dra. Emilia Ferreiro, Profesora Titular del DIE, será responsable de la coordinación y desarrollo del primer proyecto. En el segundo proyecto participan por parte de la UBA el mismo CEA y la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, mientras que por parte del CINVESTAV participa la Sección de Metodología y Teoría de la Ciencia; este proyecto contempla la formación de investigadores en el campo de los sistemas complejos, en el estudio de las

La Dra. María Esther Orozco (derecha) con sus alumnos Rossana Arroyo y Francisco Javier Solís.

El Dr. José Eduardo San Esteban, director del Programa Universitario de Investigación en Salud de la UNAM, entregó el pasado 28 de abril el Premio Lola e Igo Flisser a la Dra. Rossana Arroyo Verástegui, quien obtuvo su doctorado en el Departamento de Genética y Biología Molecular del CINVESTAV y actualmente realiza una estancia posdoctoral en la Universidad de Texas en San Antonio. Este premio está patrocinado por la familia Flisser y se otorga a tesis de posgrado realizadas en México sobre investigación en parasitología. La tesis de la Dra. Arroyo Verástegui se titula "Identificación de una adhesina de *Entamoeba histolytica*" y estuvo dirigida por la Dra. María Esther Orozco, Profesora Titular del mismo Departamento de Genética y Biología Molecular. En este trabajo, la Dra. Arroyo Verástegui identificó una adhesina de *E. histolytica* de 112 kilodaltones (kDa) que actúa directamente en la virulencia del parásito que ocasiona la amibiasis humana. Además, logró producir anticuerpos monoclonales que inhiben la patogenicidad de la amiba. Los resultados de esta tesis van encaminados al posible diseño de una vacuna contra la amibiasis.

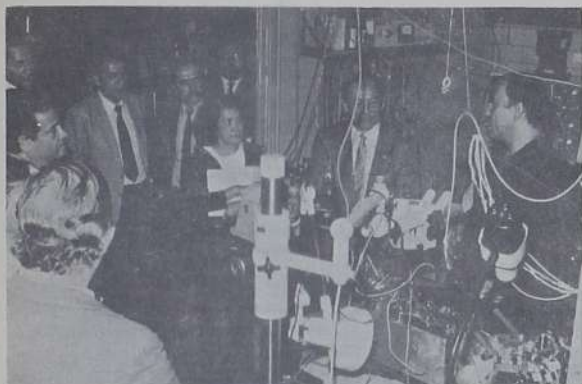
En esta ocasión, se otorgaron también dos menciones honoríficas al M. en C. Pedro Ulises G. Ostoa Saloma, por su tesis sobre "La proteína de *Entamoeba histolytica*", y al M. en C. Francisco Javier Solís Martínez por su tesis "Transformación genética y división nuclear en *Entamoeba histolytica*". Esta última tesis también fue dirigida por la Dra. María Esther Orozco.

relaciones sociedad-naturaleza y del sistema científico-tecnológico. El responsable de la coordinación de este proyecto es el Dr. Rolando Víctor García, jefe de esta sección y profesor emérito de la UBA.



La Sección de Control Automático (SCA) del Departamento de Ingeniería Eléctrica firmó un contrato de licencia para utilizar el software para la "generación de modelos y simulación de robots" (GMSIR) desarrollado por el Centro Tecnológico para Informática (CTI), el cual depende del Ministerio de Ciencia y Tecnología del Brasil. La concesión de esta licencia no acarrea ningún pago de cualquiera de las partes signatarias. El sistema GMSIR constituye un "ambiente" interactivo, expandible, para modelos de robots manipuladores y la simulación de su dinámica; será utilizado por la SCA dentro de sus

Visita de la Comisión de Ciencia y Tecnología de la Cámara de Diputados



El pasado 11 de mayo visitó las instalaciones del CINVESTAV en Zacatenco la Comisión de Ciencia y Tecnología de la LIV Legislatura de la Cámara de Diputados. Esta visita es parte de una serie de reuniones programadas por esta comisión con diferentes grupos de instituciones educativas y de investigación para apoyar su trabajo legislativo. La comisión está presidida por el Dr. Jaime Castrejón Díez, diputado federal por el Partido Revolucionario Institucional. El Dr. Héctor O. Nava Jaimes, Director del CINVESTAV, dio la bienvenida a la comisión de diputados e hizo una presentación general del Centro. La presentación de las actividades de los departamentos del Área Biológica la hizo el Dr. Fidel Ramón, actual Jefe del Departamento de Fisiología, Biofísica y Neurociencias. El Dr. Adolfo Martínez Palomo, Jefe de la Sección de Patología Experimental, reseñó brevemente las actividades de los profesores del CINVESTAV que son miembros del Consejo Consultivo de Ciencias. Las actividades de la Unidad Irapuato fueron presentadas por su director, el Dr. Alejandro Blanco. Por su parte, la M. en A. Elsie Rockwell, Jefa del Departamento de Investigaciones Educa-

programas de investigación y de formación de recursos humanos.



El M. en C. Agustín Enciso Muñoz, estudiante de doctorado del Departamento de Física, participará en el programa de verano del Centro Europeo de Investigaciones Nucleares (CERN) localizado en Ginebra, Suiza. Será el primer estudiante mexicano que participa en este programa con la "Beca Bruno González", la cual estableció el CERN para recordar la memoria de Bruno González, recientemente fallecido cuando realizaba su programa de doctorado en este laboratorio europeo. El M. en C. Enciso Muñoz colaborará durante tres meses con el famoso grupo experimental de Altas Energías UA1, que descubrió los bosones vectoriales intermedios W^+ , Z^0 y por lo cual recibió el Premio Nobel de Física en 1983.



Con el nombramiento de la Dra. Cecilia Montañez Ojeda como Jefa del Departamento de Genética y Biología Molecular, el CINVESTAV cuenta con cinco jefas de departamento o sección. A propósito de que se acaba de fundar una asociación de mujeres científicas y técnicas de países en desarrollo, con sede en Trieste, Italia, y para beneficio de los que aprecian las estadísticas, repasamos a continuación algunos datos de la componente femenina del CINVESTAV. De un total aproximado de 400 profesores, 90 son mujeres (22.5%). No conocemos el porcentaje nacional para las mujeres que se dedican a la ciencia y la técnica, pero en el SNI se tiene un 18% de mujeres y en el gremio de los físicos, 10% son físicas. En cuanto a los puestos directivos en el CINVESTAV, de un total de 25 jefes de

tivas, hizo una presentación de las actividades realizadas en su departamento. El Dr. Carlos Argüello, profesor titular de la Sección de Patología Experimental y actual Presidente de la Unión del Personal Académico del CINVESTAV (UPAC), habló a nombre de dicha agrupación y entregó un documento a la comisión de diputados, que se incluye en la sección Documentos de este número.

Posteriormente, los diputados visitaron las siguientes dependencias del CINVESTAV: Biblioteca del Área Biológica, laboratorios de Fisiología, Física, Metrología, Biotecnología y Bioingeniería, y Química. Para finalizar la visita, el Dr. David Muñoz presentó las actividades del Departamento de Ingeniería Eléctrica, del cual es Jefe, y se ofreció un convivio a los diputados.

Fue otorgado el diploma Pasteur al Cinvestav



Con el propósito de conmemorar el centenario de la Fundación Pasteur, y en colaboración con la Asociación Mexicana de Microbiología, que celebra el cuadragésimo aniversario de su fundación, se llevó a cabo una ceremonia de entrega de diplomas y medallas Luis Pasteur a diversas instituciones de investigación y científicos cuya labor ha destacado en el área de las ciencias microbiológicas. El acto tuvo lugar en las instalaciones de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas en Santo Tomás. A nombre del CINVESTAV, recibió el diploma el Dr. Héctor O. Nava Jaimes. A la ceremonia asistieron el Excelentísimo Embajador de Francia, Sr. Jacques A. Chartier de Sedouy; Dr. Jesús Kumate, Secretario de Salud; C. P. Oscar Joffre Velázquez, Director General del IPN; M. C. Elia Moreno Burciaga, Directora de la ENCB; y el Dr. Jean Claude Savoir, Director General de los Laboratorios A. F.

sección o departamento, como ya dijimos cinco (20%) corresponden a mujeres (Biología Celular, Bioquímica, Genética y Biología Molecular, Investigaciones Educativas y Matemática Educativa). Si el Departamento de Química no hubiera cambiado de jefa por jefe de departamento, el porcentaje femenino en puestos directivos (24%) habría sobrepasado al 22.5% de mujeres de la planta total de profesores. Curiosamente, el porcentaje de mujeres estudiantes se acerca mucho a estas cifras: doctorado, 25% (41 de 163); maestría, (28%) (120 de 420); especialización, 20% (8 de 41). Cerramos esta nota con el número de estudiantes en cada departamento del Centro. Para abreviar, indicamos entre paréntesis únicamente el número de mujeres y hombres en cada posgrado en este orden: doctorado; maestría; especialización, si la hay:

Biología Celular (4,6;10,6)
 Bioquímica (3,6;1,4)
 Biotecnología y Bioingeniería (0,1;8,10)
 Bioelectrónica (0,0;1,9)
 Farmacología y Toxicología (5,8;7,11)
 Física (3, 27; 0, 12)
 Fisiología, Biofísica y Neurociencias (8,24;5,19)
 Genética y Biología Molecular (7, 9; 5,13)
 Investigaciones Educativas (1,1;26,7)
 Matemáticas (4,10;1,20)
 Matemática Educativa (2,2;14,38)
 Química (0,9;9,14;2,4)
 Computación (1,4;7,46; 6,21)
 Comunicaciones (0,1;1,10)
 Control Automático (0,0;0,17)
 Electrónica del Estado Sólido (0,2;0,6)
 U. Irapuato (2,6;5,15)
 U. Mérida (1,6;14,21)
 U. Saltillo (0, 0; 6, 22)



El Dr. Adolfo Martínez Palomo recibió el Premio "Dr. Miguel Otero" 1988

La Secretaría de Salud, a través del Consejo de Salubridad General, concedió el Premio "Dr. Miguel Otero" 1988 al Dr. Adolfo Martínez Palomo, actual Jefe de la Sección de Patología Experimental del Departamento de Biología Celular del CINVESTAV. El premio fue entregado al Dr. Martínez Palomo el pasado 7 de abril, Día Mundial de la Salud, por el Lic. Carlos Salinas de Gortari, Presidente de la República. El Dr. Martínez Palomo se hizo acreedor a este premio por sus contribuciones al estudio de la biología celular del cáncer y de los parásitos del hombre.

La Dra. Cecilia Montañez Ojeda, a cargo del Departamento de Genética y Biología Molecular



La Dra. Cecilia Montañez Ojeda fue propuesta a la Junta Directiva por la Dirección del Centro para ocupar la jefatura del Departamento de Genética y Biología Molecular por un período de cuatro años a partir del 1o. de abril del presente año. La Dra. Montañez Ojeda sustituye en el cargo al Dr. Gabriel Guarneros Peña. Realizó sus estudios de licenciatura y posgrado en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN: Química Bacterióloga y Parasitóloga (1977), Maestra en Ciencias (1981) y Doctora en Ciencias (1982) en la especialidad de Microbiología. Ha realizado estancias posdoctorales en el Laboratorio de Biología Molecular del Centro del Consejo de Investigación Médica de Cambridge, Inglaterra (1982), y en el Laboratorio de Oncología Molecular del Instituto Nacional de Cancerología de Maryland, EUA (1985). Se incorporó a la planta de profesores del Departamento de Genética y Biología Molecular en 1982, donde desempeñó el cargo de



EL CENTRO DE INVESTIGACION Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL IPN

invita al

**II ENCUENTRO
DE CIENCIA Y TECNOLOGIA
DE COLOIDES Y FLUIDOS COMPLEJOS**

del 17 al 20 de julio de 1989
con el tema

**DIFUSION Y TRANSPORTE
EN EMULSIONES Y EN
SOLUCIONES DE POLIELECTROLITOS**



***CURSOS CORTOS*
CONFERENCIAS CIENTIFICAS
*APLICACIONES INDUSTRIALES***

INFORMACION E INSCRIPCIONES.

Srita. Ma. Eugenia López Rivera
y/o Sra. Rosa María Ovando
Departamento de Física
Centro de Investigación y de
Estudios Avanzados del IPN
Apartado Postal 14-740
07000 México D.F.
Tel. (5)754.64.76.

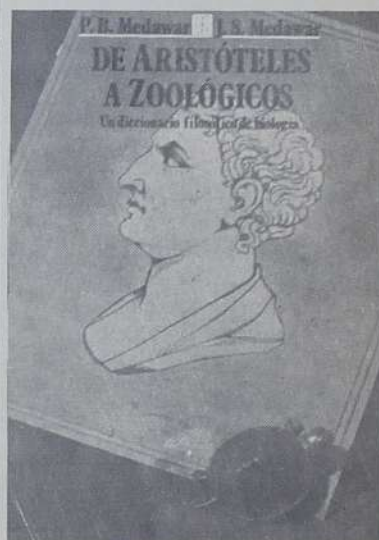
PATROCINAN: CONACyT y CINVESTAV

Coordinadora Académica (1983). Es miembro del Comité Editorial de la Revista Latinoamericana de Microbiología y del Comité Científico de la Asociación Mexicana de Microbiología. Los temas de investigación de su interés son la regulación de la expresión genética en procariotes y la identificación de factores involucrados en el proceso de regulación y en la terminación de la transcripción. Sobre estos temas ha publicado diversos artículos de investigación y ha dirigido una tesis doctoral, dos de maestría y tres de licenciatura. El Departamento de Genética y Biología Molecular cuenta actualmente con 12 profesores, 18 estudiantes de maestría y 16 de doctorado.



El Dr. Luis Alfonso Torres, nuevo Jefe del Departamento de Química

La Dirección del Centro propuso a la Junta Directiva al Dr. Luis Alfonso Torres Gómez como Jefe del Departamento de Química por un período de cuatro años, a partir del 1o. de mayo de 1989, en sustitución de la Dra. Rosalinda Contreras. El Dr. Torres Gómez es Químico (1976) de la Universidad Autónoma de Puebla (UAP), Maestro en Ciencias en la especialidad de Fisicoquímica (1979) del CINVESTAV y Doctor en Termodinámica y Química Aplicada del Centro de Termodinámica y Microcalorimetría (1982) del CNRS, Marsella, Francia. Ha sido profesor de la UAP y se incorporó a la planta de profesores del Departamento de Química en 1982. En este departamento desempeñó el puesto de Coordinador Académico (1988-1989). Su principal tema de investigación es el estudio de la relación entre la energía y la estructura de las moléculas de compuestos organometálicos, así como la calorimetría diferencial de barrido y de combustión. Es autor de varias publicaciones en estos temas y ha dirigido tres tesis de maestría y siete de licenciatura. El Departamento de Química está integrado por 12 profesores, 23 estudiantes de maestría, 9 de doctorado y 6 en especialización.



El Dr. Hildeberto Jardón Aguilar, a cargo de la Sección de Comunicaciones



La dirección del CINVESTAV propuso a la Junta Directiva al Dr. Hildeberto Jardón Aguilar como nuevo jefe de la Sección de Comunicaciones del Departamento de Ingeniería Eléctrica en substitución del Dr. David Muñoz, quién pasó a ser jefe del mismo departamento. Este nombramiento es por cuatro años a partir del 1o. de marzo del presente año. El Dr. Jardón Aguilar es ingeniero en electrónica de la Escuela de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME) del IPN; obtuvo su doctorado en ciencias técnicas en el Instituto de Ingeniería en Comunicaciones Eléctricas de Moscú, URSS, en 1984. Ha sido profesor de la misma ESIME, de la Unidad Azcapotzalco de la UAM, e investigador del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ). Su campo de investigación es el desarrollo de sistemas de comunicaciones ópticas y de radiocomunicación. La Sección de Comunicaciones cuenta hoy en día con siete profesores y doce estudiantes de posgrado.

CIENCIA Y TECNOLOGÍA

Lester R. Brown et al.

El estado del mundo

Tomos I y II

Fondo de Cultura Económica



Graduados entre enero y marzo de 1989

Agustín Suárez Fernández Maestro en Ciencias en la Especialidad de Bioelectrónica, 31 de enero. Diseño de un sistema basado en un microprocesador para determinar el volumen de la corriente y la frecuencia respiratoria. Asesor: M. en C. Esmeralda Elizabeth Ruiz Enríquez. Se integró a la planta de profesores de la UAM-I.

Blanca Estela Ayala Encinas Maestro en Ciencias en la Especialidad de Biología Molecular, 9 de marzo. Aislamiento de genes de *Entamoeba histolytica* que participan en su antigenicidad o virulencia. Asesor: Dra. María Esther Orozco Orozco. Continúa su doctorado en el Departamento de Genética y Biología Molecular del CINVESTAV. Los resultados podrían derivar en el diseño de una vacuna contra la amibiasis.

Zoila Flores Bustamente Maestro en Ciencias en la Especialidad de Bioingeniería, 20 de marzo. Validación de modelos de un sistema de cultivo por lote alimentado para la producción de proteína unicelular en bagacillo de caña. Asesor: M. en C. María Estela González Mora. Continúa sus estudios en la Universidad de Riken, Japón.

Ricardo Cristóbal Sousa Gómez Maestro en Ciencias en la Especialidad de Biotecnología, 12 de enero. Caracterización reológica de mezclas de gomas utilizadas en la industria alimentaria. Asesores: M. en C. Juan Alfredo Salazar Montoya y M. en C. Carlos Cruz Mondragón. Se incorporó a la Compañía Nestlé de la Ciudad de Panamá, Panamá

María Antonia Candela Martín, Maestro en Ciencias en la Especialidad de Educación, 10 de febrero. La necesidad de entender, explicar y argumentar: Los alumnos de primaria en la actividad experimental. Asesores: M. en A. Elsie Rockwell Richmond y M. en C. Ruth Mercado Maldonado. Es integrante de la planta de profesores del DIE.

Francisco Herrera Cetina, Maestro en Ciencias en la Especialidad de Energía, 17 de marzo. Velocidades de adsorción-desorción en zeolita 13X-metanol. Asesor: Dr. Manuel Hernán Barceló Quintal.

Octavio Chora Carabantes, Maestro en Ciencias en la Especialidad de Farmacología, 18 de enero. Metabolismo anormal de la aspirina en la hepatitis tóxica inducida por CCl_4 en ratas. Efecto de la colchicina. Asesor: Dra. Marisabel Mourelle Mancini de Irazábal.

José Delgado Lezama, Maestro en Ciencias en la Especialidad de Fisiología y Biofísica, 30 de enero. Distribución espacial de la sensibilidad a la axotomía. Asesor: Dr. Emilio Julio Muñoz Martínez. Continúa su doctorado en el Departamento de Fisiología del CINVESTAV.

Héctor Villa Martínez, Maestro en Ciencias en la Especialidad de Ingeniería Eléctrica, 3 de febrero. Diseño e implementación en una microcomputadora, de un cascarón para supervisión y control de procesos industriales. Asesor: Dr. Manuel Edgardo Guzmán Rentería.

Salvador Meneses González, Maestro en Ciencias en la Especialidad de Ingeniería Eléctrica, 17 de febrero. Sistema de comunicación utilizando codificación lineal predictiva (LPC). Asesor: Dr. Hugo Sánchez Salguero.

Roberto Linares y Miranda, Maestro en Ciencias en la Especialidad de Ingeniería Eléctrica, 17 de marzo. Diseño y construcción de receptores ópticos para sistemas de transmisión digital por fibras ópticas de 140 Mbits/s. Asesores: Dr. Hildeberto Jardón Aguilera y Dr. Walter Humberto Fonseca Araujo.

Mariano Aceda Vidal, Maestro en Ciencias en la Especialidad de Ingeniería Eléctrica, 31 de marzo. Diseño y realización tecnológica de una compuerta ECL. Asesor: Dr. Gabriel Romero Paredes Rubio.

María Joselina Ferrera Nuñez, Maestro en Ciencias en la Especialidad de Matemática Educativa, 1o. de marzo. Unidad didáctica basada en Logo, propuesta para el curso de computación de la especialidad de matemáticas, Escuela Superior del Profesorado "Francisco Morazán" en Honduras, C.A. Asesor: M. en C. Hugo Rogelio Mejía Velasco.

Guillermo Oaxaca Adams, Maestro en Ciencias en la Especialidad de Matemáticas, 27 de febrero.

Adrián Alcántar Torres, Maestro en Ciencias en la Especialidad de Matemáticas, 3 de marzo.

Saúl Palacios Bonilla, Maestro en Ciencias en la Especialidad de Matemáticas, 6 de marzo.

Jacinto Careaga Olivares, Maestro en Ciencias en la Especialidad de Toxicología, 19 de enero. Fármaco-cinética y captación agudas de talio en el conejo. Asesor: Dr. Gerardo Antonio Morales Aguilera. Es investigador en la Unidad de Investigación del Noreste del IMSS.

Blanca Estela Rivera Chavira, Doctor en Ciencias en la Especialidad de Biología Molecular, 17 de marzo. Delimitación de la región bar la del DNA del bacteriógrafo lambda. Asesor: Dr. Gabriel Guarneros Peña. Se integró a la planta de profesores de la Universidad Autónoma de Chihuahua.

María Patricia Yahuaca Mendoza, Doctor en Ciencias en la Especialidad de Farmacología, 18 de enero. Participación adrenérgica en la cirrosis hepática experimental. Uso de colchicina y propranolol. Asesor: Dra. Marisabel Mourelle Mancini de Irazábal. Se integró a la planta de profesores de la Universidad Autónoma de Zacatecas.

Gerardo Moreno López, Doctor en Ciencias en la Especialidad de Física, 27 de enero. Estudio de la reacción $p\text{Cu} \rightarrow \mu^+ \mu^- X$ con protones de 800 GeV/c. Asesor: Dr. Charles Nelson Brown, Fermilab, EUA. Se integró a la planta de profesores del Instituto de Física de la Universidad de Guanajuato.

Sergio Marquez Gamiño, Doctor en Ciencias en la Especialidad de Fisiología y Biofísica. 1o. de marzo. Determinación potenciométrica con microelectrodos, de los iones magnesio y cloro intracelulares en músculo esquelético y en neuronas sensoriales de rana. Asesor: Dr. Francisco Javier Alvarez Leefmans. Se integró a la planta de profesores del Instituto Nacional de Psiquiatría.

Jorge Alberto León Vázquez, Doctor en Ciencias en la Especialidad de Matemáticas, 6 de marzo. Equivalencia de soluciones de ecuaciones de evolución estocásticas. Asesor: Dr. Luis Gabriel Gorostiza Ortega. Se integró a la planta de profesores del Departamento de Matemáticas del CINVESTAV.



**libros**

Rosalind Franklin & DNA, Anne Sayre, W.W. Norton Company Inc, Nueva York, 1975, 221 págs.

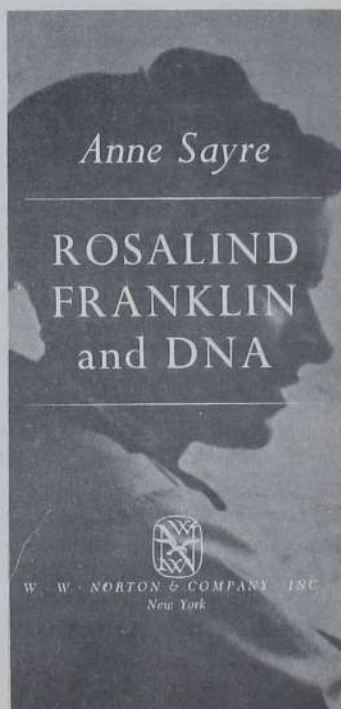
Hay textos que escriben las mujeres sobre otras mujeres injusta o insuficientemente valoradas, que suelen poner por delante la desigualdad de la mujer en nuestra sociedad patriarcal. Este no es el caso del libro *Rosalind Franklin & DNA* (W.W. Norton Company Inc, New York) escrito por su amiga Anne Sayre, a quien obviamente indignó el libro de James Watson *La doble hélice* por su menosprecio a la contribución de Rosalind Franklin al ya famosísimo e importantísimo modelo de la estructura de las moléculas del ácido desoxirribonucleico (ADN).

Rosalind Franklin, físico-química de formación, había trabajado como *chercheur* en el Centro Nacional de la Investigación Científica en París y desarrollado una enorme habilidad en cristalografía, esa forma de microscopía sin microscopio que en aquella época comenzó a adquirir rápida importancia, pues además de la metalurgia y la mineralogía había empezado a ser de gran utilidad para comprender la estructura de compuestos orgánicos y, en especial, de sustancias biológicas. Regresó a Londres a montar una unidad de difracción de rayos X en el departamento de Biofísica del King's College; allí, como cualquier investigador sensible e imaginativo, no resistió involucrarse en la dilucidación del ADN. Y comenzaron sus problemas.

Lo apasionante de este libro es que no es un simple desahogo de indignación -que muy bien podría haberlo tenido la propia Rosalind y que por sabiduría no lo hizo- sino la reivindicación de una inteligencia femenina, no por femenina, sino por singular, por individual. Aún vivimos lejos de apreciarnos socialmente como individuos, pero más lejos aún de apreciar y apreciarnos las mujeres como tales.

Pero esto no es lo único, la apreciación que hace Anne Sayre de la persona que fue Rosalind Franklin no sólo descubre a alguien apasionada, creativa e interesante; pone al descubierto un panorama humano de la actividad científica que parece ajeno al conocimiento científico y que, aunque pese, es parte del sustrato en el que se genera este conocimiento. Suena tonto decirlo pero hay que decirlo: los científicos son seres humanos cuyos comportamientos también influyen en el conocimiento, sobre todo en la manera que se produce, al igual que en otras actividades.

El menosprecio al trabajo de Rosalind Franklin, según este libro, se debió a tres causas principales: una falta de comunicación a nivel cotidiano, toda una serie de falsos sobreentendidos sobre la personalidad de la investigadora, y un desacuerdo fundamental sobre la manera de hacer ciencia, del que actualmente hay mucha mayor conciencia.



La falta de comunicación

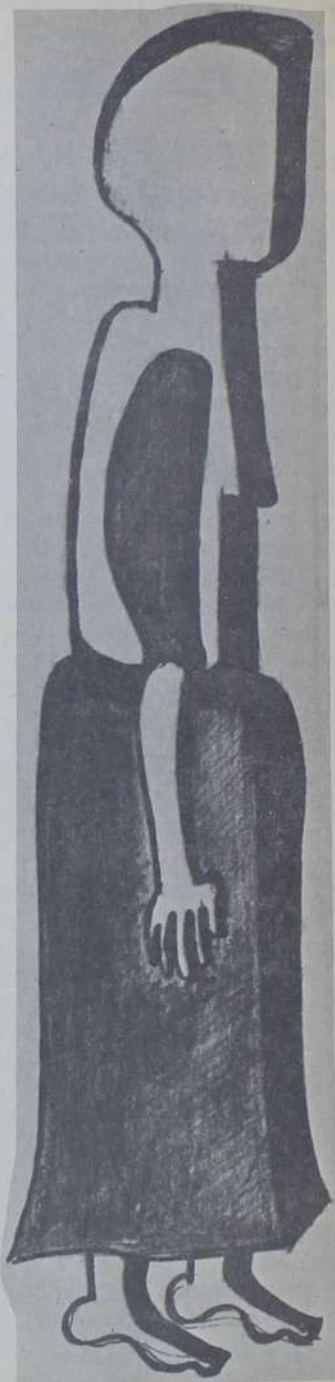
Múltiples errores y malentendidos impidieron comprender que Rosalind Franklin no era una simple cristalógrafa y que sabía qué tenía entre manos. Ella inició su trabajo en el King's College -una institución de hombres con gran tradición -aparentemente bajo las órdenes del físico y biólogo Maurice Wilkins. A él y a su equipo les fue encargada una parte de la investigación que contribuyó al hallazgo de la estructura del ADN. Como ya es sabido, otra parte de la investigación, el diseño del modelo, fue realizada en la Universidad de Cambridge por los ahora ya muy famosos James Watson y Francis Crick, quienes asumieron la empresa como una competencia con Linus Pauling, quien trabajaba en lo mismo en los Estados Unidos.

La razón por la cual Rosalind Franklin fue contratada por el King's College para hacer cristalografía de moléculas orgánicas, área en ese entonces muy reciente, era su brillante desempeño en Inglaterra y después en Francia haciendo cristalografía con rayos x de moléculas de carbón. Al parecer, este tipo de cristalografía requiere de mucha imaginación, intuición y creatividad pues estas moléculas muestran estructuras más difusas que las de otros elementos.

Según cuenta Anne Sayre, Rosalind Franklin llegó a trabajar al King's College con esperanza y a la vez un poco de disgusto pues pese a que representaba un salto considerable en su carrera profesional, dejó tras de sí en Francia un ambiente de trabajo cálido y de franca camaradería que no existía en el King's College, mucho menos con las mujeres. Ella tenía un carácter discutiendo y apasionado - influido por el temperamento latino, en este caso francés - que chocó con el de su colaborador Maurice Wilkins. Algo que también contribuyó a este choque era el hecho de las distintas formaciones científicas. Wilkins era físico y biólogo y ella era química. Los entendidos en esto saben el conflicto que a veces implica.

Maurice Wilkins y ella trabajaron juntos sin poder simpatizar y comunicarse como llegaron a hacerlo, por ejemplo, Watson y Crick. Esto provocó que ella pareciera subordinada a Maurice Wilkins y que Watson pensara en que ella no sabía que traían entre manos, pues a estas alturas muchos sabemos lo importante que resulta para la investigación, el conocimiento y las artes en general la comunicación y la convivencia extra muros académicos. Factor que enfatiza Watson en su libro, *La doble hélice*, como muy esencial en la dilucidación de la estructura del ADN; pues la construcción del modelo no sólo dependió de la agudeza y la intuición de sus "creadores", Watson y Crick, sino de su capacidad para reunir una gran cantidad de información generada por distintos grupos científicos. Por ejemplo, Watson, en ese entonces muy joven, fue enviado por Crick a escuchar una de las primeras conferencias que dio Rosalind recién llegada al King's College y de allí extrajo una importante información que los hizo pensar en la corroboración experimental del modelo. Rosalind consideró al parecer esta conferencia como un fracaso y Watson no reconoció a quien proveyó esta información desde un principio.

Según el propio Watson, mucha de la información para el modelo la obtuvieron discutiendo en bares, cafés y restaurantes con los distintos



científicos involucrados en el asunto, entre ellos estaba Wilkins. Dada la casi nula relación entre Rosalind y Wilkins, ella casi no estaba al tanto de los proyectos de Watson y Crick, pues en realidad no la invitaron a participar. Toda esta falta de comunicación creó un horrible malentendido, tal parecía que ella estaba en contra del modelo de la doble hélice, pues no podía inferirlo de sus cuidadosos experimentos. Lo que sucedía es que ella en un principio logró inferir con mucha precisión la estructura de la cadena B del ADN que no sugería la helicoidalidad de manera inmediata.

Por otro lado, su noción de la actividad científica y de la competencia, al igual que para Maurice Wilkins, era distinta: ellos no buscaban el acontecimiento mundial que fue el descubrimiento (y que sí buscaban Watson y Crick). Su institución apoyaba con muy poco dinero esta investigación. Además, para Rosalind Franklin, según Anne Sayre, la cristalografía no era un terreno de competencia profesional, era una pasión personal también y como toda pasión de este tipo requiere de condiciones de trabajo agradables en la que ésta sea reconocida y compartida. A tal grado estas condiciones eran negativas para ella en el King's College, que pese a lo promisorio de la investigación, ella había decidido irse y continuar en otro lugar este trabajo de cristalografía, cosa que hizo.

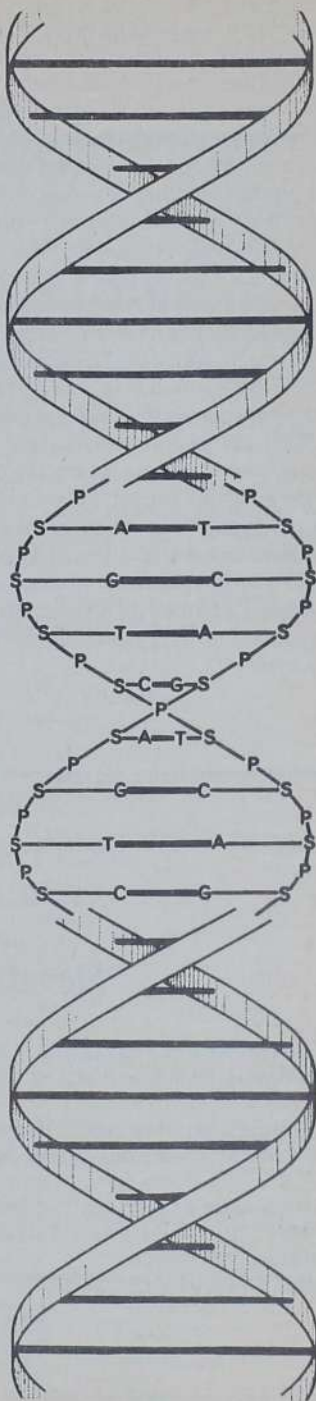
Los falsos sobreentendidos

Cuando alguien parece no emocionarse, ni apasionarse con una labor en la que no lo dejan participar y, sin embargo, lo presionan, puede parecer que esa persona boicotea el trabajo. Esto fue por desgracia, lo que le sucedió a Rosalind Franklin. Probablemente su resistencia lógica a esa presión que ni siquiera provenía de Maurice Wilkins, sino de dos científicos de otra universidad que requerían de su trabajo, ocasionó esos juicios "bajos" por parte de Watson en aquel tiempo y que impidieron apreciar su trabajo y su persona. De estos juicios Watson se desdice dedicándole su libro, *La doble hélice*. Una débil disculpa según Anne Sayre y según yo también a estas alturas apasionadas del artículo.

Distintos modos de hacer ciencia y de vivir como científico

El modelaje "superteórico" que predice y se apoya en un gran acervo de datos experimentales es una forma de generar conocimiento que por su predominio actual ya no nos extraña. Pero en el momento en el que Watson y Crick diseñaron el modelo todavía no era una forma que se generalizara. Esta, por un lado, metió a los científicos teóricos en toda una serie de caminos profundos que han revolucionado la epistemología; sin embargo, ha hecho perder esa profundidad de búsqueda a la ciencia experimental. En muchos casos se ha atomizado a tal grado la experimentación que ésta parece no tener conexión con ciertas líneas profundas del conocimiento. A esto se debe en parte que a ratos la ciencia parezca indefinible.

La otra desventaja para Rosalind Franklin fue precisamente que su profundidad estaba del lado de la experimentación, cosa que demostró



con el ADN y que seguiría demostrando cuando salió de King's College y se dedicó a la cristalografía del virus del tabaco. Murió de cáncer a los 37 años y su trabajo en la cristalografía del ADN no le valió el premio Nobel, a Watson y a Crick sí. El reporte con el que presentaron el modelo en *Nature* lleva un agradecimiento a Wilkins y a Rosalind Franklin.

La visión que de Rosalind presenta Watson en su libro, pese a la dedicatoria, contribuye a pensar en ella como una víctima pues su versión de que ella "no quiso participar" puede dar la idea de que no tuvo éxito en términos profesionales. La visión que de Rosalind da su amiga Ann es totalmente contraria y puede vislumbrarse a partir de algo maravilloso que dice al principio del libro: se suele pensar en la desdicha en términos homogéneos, en cambio la felicidad es muy distinta para cada quien. Esto lo dice en relación al hecho de que Rosalind provenía de una familia feliz y libre para su momento. Quien ha sido feliz de alguna manera sabe buscar y encuentra una felicidad personal que no estriba tanto en el éxito social y en el reconocimiento, sino en la pasión por lo que hace y por quienes ama. Creo que así era ella y es cada vez más difícil ser así en un mundo en el que predominan el egoísmo y la competencia despiadada. Esta competencia, es cierto, ha contribuido al avance del conocimiento, pero también a promovido una deshumanización en la vida que lo busca. De allí que nos parezcan a veces ajenos el acontecer humano de los científicos y su forma de generar conocimientos se considere únicamente una estructura material y no un marco espiritual para estimular su quehacer.



Alicia García Bergua

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados

El Departamento de Bioquímica ofrece programas de

Maestría y Doctorado en Bioquímica

a estudiantes que hayan concluido o estén por hacerlo el ciclo profesional de carreras médicas, biológicas, químicas o afines, con promedio mínimo de 8 (ocho).

La inscripción a los cursos *propedéuticos* debe solicitarse antes del 31 de julio enviando constancia de calificaciones y dos cartas de recomendación de profesores, a:

Coordinador académico, Departamento de Bioquímica
CINVESTAV, Apdo. Postal 14-740,
México, D. F. 07000
Tel.: 754-68-04 y 754-06-09

Los estudiantes destacados obtendrán becas

CENTRO DE INVESTIGACION Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL IPN
Departamento de Ingeniería Eléctrica
Sección de Computación

SEGUNDO CURSO INTERNACIONAL DE
SISTEMAS EXPERTOS
Noviembre 6-10, 1989.

TEMARIO

Sistemas Basados en Conocimiento

- De propósito general
- Para enseñanza de ingeniería
- Para diseño de ingeniería

Sistemas de Planeación

Modelación Cualitativa

Propagación de Incertidumbres

Procesamiento de Lenguaje Natural

ORGANIZADOR DEL CURSO

Dr. Guillermo MORALES-LUNA
Sección de Computación, CINVESTAV-IPN
Av. Instituto Politécnico Nacional 2508,
Colonia Zacatenco, 07300 México, D. F.
Apdo. Postal 14-740, México, 07000
Tels. 754-77-97 y 754-02-00
Telex: 1772826 PPTME
Fax: 754-87-07
Bitnet: CINVES@UNAMVM1

PATROCINADORES

CINVESTAV-IPN

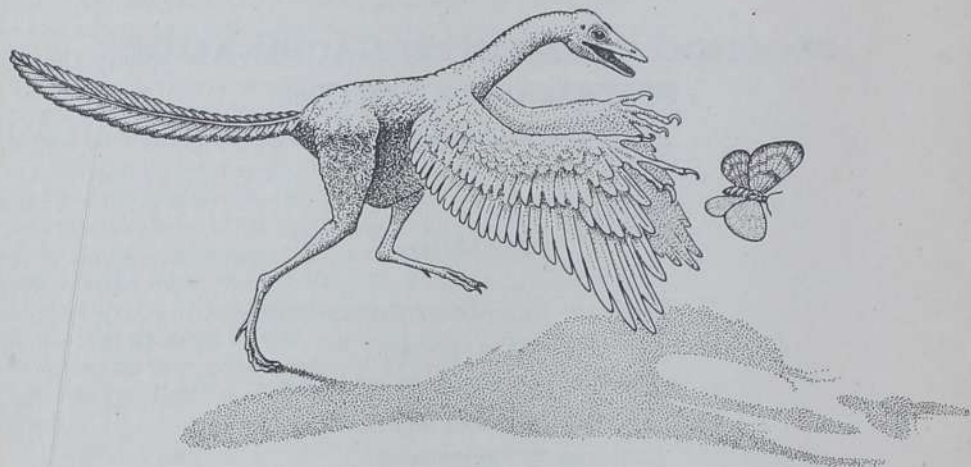


CONACYT





Charles Darwin: Un elogio



Stephen Jay Gould

Cuando Galileo decidió escribir en italiano para un público culto común y no en latín para un círculo restringido de eruditos, seguramente no estaba pensando en que con ello inauguraría una gran tradición, pero no cabe duda que lo hacía con todo propósito. Desde entonces, si bien la lista es más bien breve, esta tradición ha llegado hasta Thomas Huxley, Peter Medawar y, recientemente, Carl Sagan y Stephen Jay Gould, quienes además agregan a su excelente y amena escritura el carácter célebre de sus personalidades. "Los buenos científicos nunca rehuyen al gran público", ha dicho Gould, "siempre escriben de manera que los entienda". Hay quienes imaginan una nueva cosmogonía dual: los cielos fueron creados para Sagan y la Tierra para Gould.

Paleontólogo de Harvard, Gould ha escrito numerosos ensayos en *Natural History*, *New Scientist* y *Discover*, reunidos en cuatro volúmenes: *Ever Since Darwin* (Desde Darwin); *The Panda's Thumb* (El pulgar del panda); *Hen's Teeth and Horse's Toes* (Los dientes de la gallina y los dedos del caballo) y *The Flamingo's Smile* (La sonrisa del flamenco).

Pero también debe ser reconocido por su apoiación a la ciencia. Jay Gould y Niels Eldredge, del Museo de Historia Natural de Nueva York, propusieron en 1972 la teoría del "equilibrio puntuado", basada en observaciones del registro fósil según las cuales rara vez se encuentran en dicho registro líneas que cambian en forma gradual, sino que hay especies prácticamente sin cambios durante millones de años, que surgieron y desaparecieron sin formas intermedias. Una vez que se "consolida" una especie, al poco tiempo de haberse originado, no cambia más y

permanece así hasta que surge otra o se extingue. En cambio la visión tradicional, gradualista, de la evolución es la de una marcha paulatina y majestuosa hacia la perfección; el refinamiento continuo de la especie en cada generación por selección natural. Según Jay Gould y Eldredge, el proceso es más azaroso. De pronto aparece una nueva especie que establece su dominio y permanece esencialmente inalterada hasta que el equilibrio se interrumpe: aparece un rival, el clima cambia, una lluvia de meteoritos causa estragos al azar. No obstante, el debate se halla abierto por la imposibilidad de confiar plenamente en un registro fósil vago.

Gould no sólo discute con sus colegas en un terreno estrictamente científico, sino que también rebate con suma seriedad a los "ideólogos de la ciencia". Ha emprendido verdaderas campañas contra creacionistas y deterministas genéticos por igual. Ha impugnado las tesis de que la inteligencia se hereda, y critica las teorías de los sociobiólogos de que la evolución ha dejado a los humanos genéticamente programados para manifestar rasgos que van de la agresión al altruismo. En su libro *The Mismeasure of Man* (La falsa medida del hombre) relata la escandalosa historia de los intentos "científicos" (como la medición de los tamaños de cerebros en el siglo XIX o, más recientemente, la alteración de los resultados de las pruebas de inteligencia) para demostrar que los varones blancos son los humanos más "avanzados".

El presente ensayo fue tomado de *Discover*, febrero de 1982. (Nota y traducción de Carlos Chimal.)

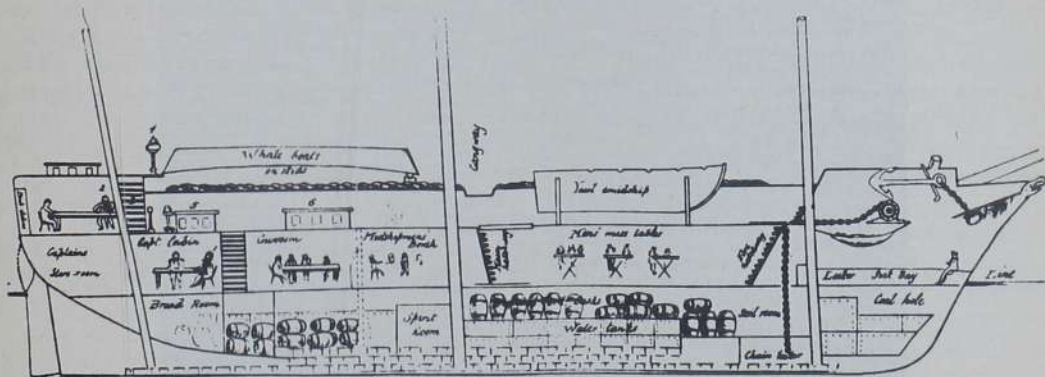
Como para dar a futuros buscadores de placer una doble excusa en su afán de brindar, Charles Darwin fue tan gentil que publicó su gran obra, *El origen de las especies*, cuando tenía exactamente 50 años de edad. Así, en 1959 pudimos celebrar al mismo tiempo el centenario de la aparición de su libro y el sesquicentenario de su nacimiento. Y vaya que lo festejamos, con simposios y conferencias en todo el mundo.

Las únicas notas discordantes entre todo este regocijo fueron lanzadas por ciertos académicos que seguían una tradición, entonces generalizada, de calificar a Darwin como una anomalía en la historia de las ideas. Según ellos, él fue un tipo lánguido de habilidades ordinarias que cayó en el sitio adecuado en el momento oportuno; las únicas virtudes que le reconocían eran ahínco y paciencia. Un biógrafo famoso describía a Darwin como "intelectualmente limitado y culturalmente insensible"; otro lo juzgaba "un gran compilador de hechos y un pobre tejedor de ideas... un hombre que no pertenece al grupo de los grandes pensadores".

Las celebraciones de 1959 inspiraron una ola de estudios darwinianos que enterraron definitivamente estas despreciativas interpretaciones y aclararon la naturaleza disímil pero genuina del genio de Darwin. Por tanto, conforme se acerca la siguiente gran excusa para celebrar—Darwin murió en abril hace 100 años, y en nuestro mundo incierto estamos obligados a festejar los decesos y los nacimientos—vemos un Darwin distinto, un hombre mucho más vigoroso y admirable.

Darwin ha sido la inspiración de mi vida y mi trabajo, junto con mi padre y Joe DiMaggio, quienes forman el trío selecto de hombres que más profundamente me han influido. A propósito del centenario de su muerte, he aquí este reconocimiento, un ensayo francamente elogioso pero honesto. Celebremos el que, en nuestro complejo y ambiguo mundo, podamos reconocer a un hombre con tal poder de pensamiento y ascendiente sobre todos nosotros; un hombre que al mismo tiempo se las arregló para ser un hombre ejemplar.

Darwin nació en Shrewsbury en 1809, el mismo día que Abraham Lincoln. Tenía todas las ventajas que su clase social y el dinero podían ofrecer. Su padre era un médico acaudalado; su abuelo, Erasmus Darwin, un célebre escritor cuyos libros sobre la naturaleza, en dísticos heroicos, a menudo son considerados (erróneamente) como antecedentes de los puntos de vista de su nieto. En Cambridge fue un estudiante apático, sobre todo por la falta de una causa. Pero a bordo del *Beagle* Darwin sufrió una transformación radical y regresó, luego de cinco años de viaje alrededor del mundo, como un naturalista decidido, sin acordarse ya de sus planes previos según los cuales habría de convertirse en un clérigo rural. Según una leyenda popular, los pinzones y las tortugas de las Galápagos pusieron a Darwin al borde de la herejía. En realidad, estas (y otras observaciones que realizó en su viaje) sólo lo empujaron ligeramente por esa senda; dos años de esfuerzos y concentración en Londres después del viaje alimentaron su cambio. Arregló sus apuntes, leyó vorazmente en todos los



campos de la ciencia, poesía y filosofía, llenó una tras otras libretas con anotaciones telegráficas y, finalmente, en 1838, reunió todo en la teoría de la selección natural.

Sobre los aspectos externos del resto de su vida es más bien poco lo que podemos decir que sea de interés común. Se casó con su prima Emma Wedgwood y vivió muchos años felices a su lado, lejos de la más ligera sombra de pobreza y escándalo. Nunca volvió a salir de las Islas Británicas, y rara vez se aventuró incluso más allá de su casa de campo en Downe, en las afueras de Londres. Sus tragedias fueron las mismas de todos sus contemporáneos: la muerte temprana de varios de sus amados hijos. Sus mortificaciones cotidianas eran provocadas por continuas náuseas y gases estomacales, malestares crónicos de origen desconocido que han sido debatidos interminablemente (y de manera infructuosa) entre los estudiosos darwinianos.

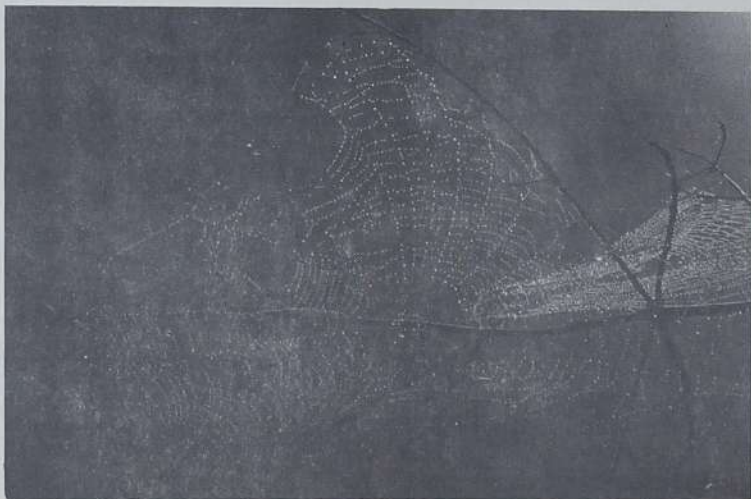
Pero, imaginemos la agitación en su mente. Durante 30 años sin moverse de Downe, yendo de un libro a otro, algunos fascinantes y vagos (incluyendo tomos enteros de enredaderas, orquídeas y la formación de mantillo por los gusanos de tierra), debió concebir, si no toda, al menos los elementos de una teoría general y un enfoque que revolucionó el pensamiento humano. Pocos hombres han influido al mundo con tal profundidad, y desde una ciudadela a todas luces tranquila.

¿Por qué fue Darwin y no Jean Baptiste Lamarck o Robert Chambers, o bien cualquiera de los muchos evolucionistas que le antecedieron o le sucedieron durante el siglo XIX, quien llegó a convertirse en un símbolo e inspirador de la gran transición en la historia del pensamiento biológico? Diversos científicos e historiadores han reflexionado sobre este enigma durante cien años, y no lo han resuelto por completo (así que queda mucho por hacer cuando deba celebrarse el bicentenario en el 2009). Los aspectos que me parecen importantes pueden ordenarse en cinco categorías, lo cual nos ofrece un marco para este reconocimiento.

La utilidad de la teoría de Darwin

La fama de Darwin no puede descansar simplemente en sus convicciones evolutivas, pues antes que él había grandes científicos europeos (en particular, Lamarck y Geoffroy de Saint-Hilaire en Francia). Pero estos predecesores habían desarrollado teorías especulativas, desprovistas de evidencia directa y que no habían sido sometidas a una comprobación exitosa. La ciencia sólo puede transitar en ideas útiles y operacionales.

Sobre el origen de las especies nos ofrece abundante evidencia y sugerencias directas para la investigación, no únicamente un punto de vista cósmico,



imposible de verificar, más adecuado para una contemplación temerosa (o reacia) que para un uso inmediato, una inspección minuciosa y llevar a cabo inferencias a partir de él. Por primera vez, Darwin le dio a los científicos algo práctico que hacer.

La teoría de Lamarck había propuesto una fuerza inherente que "tiende incesantemente a complicar la organización". Establecía un contraste entre esta tendencia interna hacia la perfección y la "influencia de las circunstancias", o lo que podemos hoy denominar adaptación al ambiente local. Para Lamarck, los cambios pequeños que pueden observarse y manipularse no eran lo primordial del proceso evolutivo más importante-el impulso hacia la perfección-, sino sólo desviaciones tangenciales con las que se adaptan las criaturas a las circunstancias locales.

Por otra parte, en la teoría de la selección natural de Darwin estos cambios pequeños son, por extensión, toda la evolución. Darwin hace caso omiso de las fuerzas internas desconocidas, y trata de interpretar todo cambio en todas las escalas como el producto acumulado de modificaciones pequeñas y observables. Por tanto, la cría de pichones y la variación geográfica menor dentro de las especies naturales se convierten en la sustancia de la evolución. Al analizar qué puede ser observado y medido, los científicos examinan la esencia del proceso, no simplemente una fuerza desviadora que se opone a un impulso interno desconocido. Darwin hizo de la evolución una ciencia *posible*. Desde el punto de vista de un profesional, no puede haber mayor elogio. (Yo en lo personal creo que Darwin fue mucho más allá en el intento de reducir todos los fenómenos de gran escala a la acumulación gradual de cambios pequeños bajo selección natural. Pero este es un tema para otro momento, y lo que más me interesa sólo se confirma por añadidura: si Darwin no hubiera establecido una teoría de la evolución *posible*, aún estaríamos rumiando historias en nuestros sillones o en cocteles, y no desarrollando críticas verificables.)

Las implicaciones radicales de la selección natural

El común denominador de las teorías evolutivas propuestas por los rivales de Darwin radica en su afinidad con muchas inclinaciones tradicionales del pensa-

miento occidental que Darwin estaba tratando de cuestionar o erradicar. Ellos consideraban la evolución como un proceso predeterminado gobernado por principios de progreso intrínseco.

Sin embargo, la selección natural es una teoría sólo de adaptación local. Los cambios que desde nuestra naturaleza antropocéntrica decidimos llamar progresivos sólo representan un camino de adaptación a los cambios en los entornos locales. En todo mamífero de cerebro grande habitan especies de parásitos tan "degeneradas" morfológicamente, que son un poco más que bolsas de tejido reproductivo. No obstante, ¿quién puede afirmar que una u otra especie es "la mejor" o algún garante de la tenacidad evolutiva?

Por si un rechazo del progreso inherente no hubiera sido lo suficientemente radical, Darwin también introdujo el espectro del azar en la teoría evolutiva. A decir verdad, el azar únicamente proporciona una fuente de *variación* en la teoría de Darwin. Entonces la selección natural (un proceso determinista) escudriña la gama de variantes aleatorias y conserva a los individuos mejor adaptados a los cambios de cada entorno local. Sin embargo, el azar en cualquiera de sus formas era una blasfemia para muchos pensadores decimonónicos, de entonces y de hoy.

La teoría de Darwin también enfrentó la cómoda suposición de que la evolución debe tener un propósito, que trabaja por el bien de las especies o de los ecosistemas. La teoría de la selección natural, establecida quizá como una analogía inconsciente con el pensamiento económico individualista, del *laissez-faire* de Adam Smith (a quien Darwin había estado estudiando intensamente poco antes de formular su teoría), habla sólo de una lucha individual por el triunfo personal. En términos modernos, la selección natural se ocupa de la lucha inconsciente de los individuos por dejar el mayor número de sus genes en una progenie viva. Cualquier beneficio para las especies, cualquier armonía en los ecosistemas, surgen simplemente como una consecuencia de esta lucha entre los individuos, o, en el caso de los ecosistemas, como un equilibrio natural entre los competidores.

¿Qué pasa entonces con el espíritu, las fuerzas vitales, Dios mismo? Ningún espíritu observa, amo-

roso, los acontecimientos de la naturaleza (aunque el dios que hace girar el reloj de Newton podría haber planeado la maquinaria al principio del tiempo y haberla echado a andar). Ninguna fuerza vital impulsa el cambio evolutivo. Y cualquiera que sea nuestra idea de Dios, su existencia no se manifiesta en los productos de la naturaleza.

Darwin no era ateo. Probablemente conservó la fe en una especie de dios personal, pero no le concedió a su divinidad una función mediadora directa y continua en el proceso evolutivo. Muchos han visto en ello un mensaje pesimista, o incluso nihilista. Yo lo concibo (y creo que era la intención de Darwin) como algo positivo y estimulante. Nos enseña que el significado de nuestras vidas no puede descifrarse en forma pasiva de las obras de la naturaleza, sino que debemos luchar, pensar y construir ese significado por nosotros mismos. Además, Darwin mantuvo una actitud profundamente humilde ante la dificultad de esta tarea. Comprendió los límites de la ciencia.

El alcance universal de la visión de Darwin

Muchos de los colegas evolucionistas de Darwin, ya fuera por falta de valor o por fidelidad a la tradición, confeccionaron argumentos tortuosos a fin de excluir al ser humano de su sistema e introducir una excepción divina para este peculiar primate. Darwin perseveró y construyó una teoría general aplicable a todos los organismos. Me parece que podemos distinguir tres aspectos de gran audacia en su obra más importante. Publicó el *Origen de las especies* y estableció su teoría general en 1859. Acerca de nuestra especie, sólo dijo: "Se arrojará luz sobre el origen del hombre y su historia"; en posteriores ediciones se arriesgó a aumentar ligeramente la sentencia: "muchacha luz" se leía. En 1871 publicó *La descendencia del hombre*, en donde sostenía que nuestros cuerpos también han sido moldeados por las fuerzas de la selección natural. Finalmente, en *La expresión de las emociones en el hombre y en los animales* (1872) se atrevió a afirmar que nuestro comportamiento más particularmente humano y refinado--la expresión de nuestras emociones--también reflejaba un pasado evolutivo. Manifestamos disgusto con un movimiento facial asociado al acto adaptativo de vomitar. Torcemos nuestros labios de ira, alzándolos hasta que sobresalen

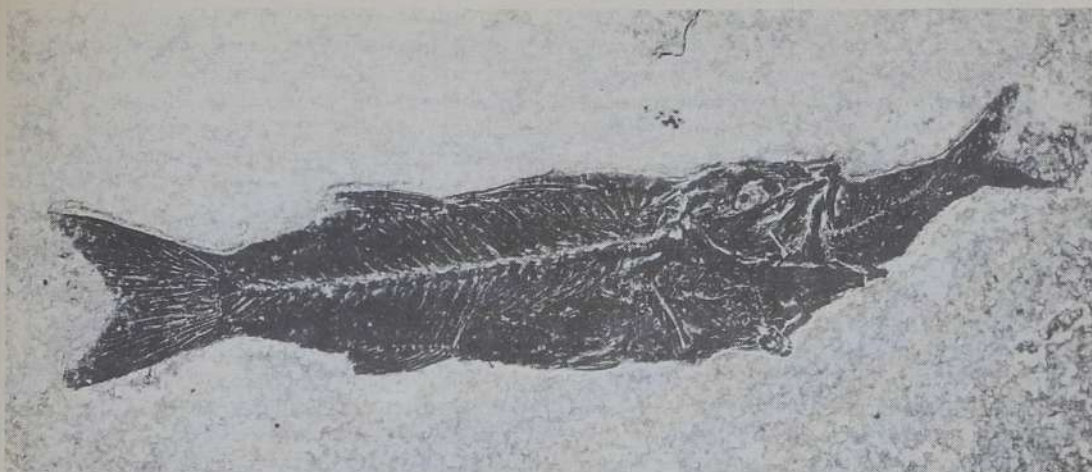
nuestros inútiles caninos; no obstante, en nuestros antepasados, estos mismos dientes eran largas y afiladas armas. En nuestra alma así como en nuestro cuerpo exhibimos "el carácter modesto de un origen prosaico".

La consistencia y profundidad del pensamiento de Darwin

Charles Darwin escribió 15 libros (sin contar cuatro monografías sobre la taxonomía de los percebes y su contribución al relato sobre el viaje del *Beagle* del capitán Fitzroy). Tradicionalmente, estos libros eran considerados como una colección heterogénea, en realidad unos cuantos volúmenes revolucionarios, pero en su mayoría juguetes triviales de un naturalista chocho. ¿Para qué revisar un libro sobre "la estructura y distribución de los arrecifes coralinos", o "sobre los diversos dispositivos mediante los cuales las orquídeas son fertilizadas por los insectos", o bien sobre "la formación de mantillo por la acción de los gusanos"?

Pienso que los académicos darwinistas estarían de acuerdo ahora, sin embargo, que todo el conjunto de su obra es una exploración consistente, arborescente y notable de su nuevo punto de vista de la vida y sus consecuencias. Todos sus libros tratan de evolución o de la extensión a otros temas de su método evolutivo (el estudio de la continuidad histórica y los criterios para inferir una conexión genealógica). Por ejemplo, su teoría de los arrecifes coralinos depende del reconocimiento de que la variedad de todas las formas de arrecifes modernos puede entenderse como etapas de una sola secuencia histórica (el desarrollo continuado de arrecifes a manera de soporte de islas que se hundían en el mar). Esta teoría, que fue sumamente criticada en la época de Darwin, ha sido ampliamente confirmada en nuestros días; el método de argumentación es idéntico al de la inferencia de la evolución a partir de distintas etapas en el proceso de especiación que muestran las poblaciones modernas.

El libro sobre la orquídea no es un compendio de nimiedades de un aficionado, sino un amplio razonamiento sobre las causas por las que la imperfección del diseño orgánico ilustra el linaje evolutivo. Cuando el entorno cambia, los organismos deben modificar sus partes ancestrales para adaptarse a las nuevas funciones. Esta herencia del pasado excluye el



desarrollo de diseños óptimos. La orquídea atrae insectos al modificar las partes comunes de las flores y les asigna nuevas funciones. El libro sobre el gusano aborda el tema evolutivo favorito de Darwin: una acumulación de cambios pequeños produce grandes efectos a largo plazo.

Darwin también reconocía el profundo y agitado efecto que la evolución podría generar en otras disciplinas tradicionales lejanas a la ciencia. En un notable pasaje de una de sus primeras libretas de notas, por ejemplo, Darwin resume 2 mil años de tradición filosófica con una sola frase: "Platón dice en *Fedo* que nuestras ideas imaginarias nacen de la pre-existencia del alma, no de la experiencia deducible; léase mono por pre-existencia".

Los héroes de verdad deben estar hechos de carne y hueso

Si Darwin hubiera sido un tipo aburrido, o un hombre detestable, ventajoso, podría resultarnos menos atractivo, aunque de todos modos admiraríamos la fuerza de su pensamiento. En cambio, fue una persona cuya bondad y decencia naturales resistieron los numerosos intentos de sus detractores por rebajarlo o difamarlo. La quietud de su vida exterior contradice su agitación interna, pero Darwin dominó sus ansiedades, o las canalizó hacia sus achaques o el trabajo (dependiendo de la teoría psicoanalítica que prefiera el lector), y nunca dejó de ser un genuino y eminente victoriano.

Ante todo, Darwin nos ha conquistado por su excelente escritura. No fue, como los científicos Thomas Henry Huxley y Charles Lyell, un vigoroso y elegante estilista. Escribió muchas páginas con una prosa correcta, descriptiva, pero ordinaria. Sin embargo, poseía intuición para descubrir metáforas y ocasionales arranques de controlada pasión. Y estas joyas brillan tanto más porque se hallan engastadas en una prosa común, y cuando de pronto nos topamos con ellas, las disfrutamos en verdad. Pensemos en sus metáforas de la cuña, de la banca enredada, del árbol de la vida, o mi favorita (en la que se representa un contraste entre la armonía superficial de los ecosistemas y la lucha que en el fondo se libra entre los individuos): "Contemplamos el rostro de la naturaleza brillar con júbilo..."

Cuando Darwin utiliza esta fuerza prosística para exponer posturas sociales que la mayoría de nosotros consideramos ilustradas (Darwin fue, según el lenguaje del siglo XIX, un liberal comprometido con la abolición de las restricciones a la expresión de las capacidades humanas), el efecto puede ser sorprendente. Considérese este pasaje sobre la esclavitud tomado de la conclusión de su *Viaje en el Beagle*:

Cerca de Río de Janeiro vivía yo enfrente de una vieja dama, quien no soltaba las empulgueras con las que apretaba los dedos de sus sirvientas. Estaba yo hospedado en una casa donde un joven criado mulato, a toda hora y cada día, era vilipendiado, golpeado y perseguido, tanto,

que hubiera agotado el espíritu del animal más vil. He visto a un pequeño, de unos seis o siete años, azotado una y otra vez (antes de que pudiera intervenir) en su cabeza desnuda por haberme llevado un vaso de agua no muy limpia... Y estos actos son llevados a cabo y solapados por hombres que dicen amar a sus prójimos como a sí mismos, quienes creen en Dios y rezan porque su Voluntad sea en la Tierra! Le hierve a uno la sangre, más aún, se siente que el corazón estalla al pensar que nosotros, ingleses, y nuestros descendientes americanos con su jactancioso grito de libertad, hemos sido y somos culpables.

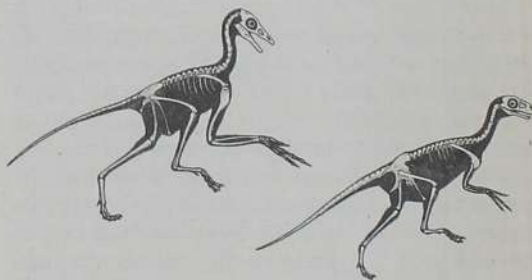
Pero no quiero mostrar a Darwin como un hombre de cartón, pues entonces se opacaría en su unidimensionalidad, de cualquier forma admirable. Darwin tuvo muchos errores, aun cuando la mayoría formaban parte de las actitudes comunes de su época. No se piense que sus muchas expresiones favorables sobre los negros reflejan en general una perspectiva igualitaria. Prácticamente ningún hombre de ese momento--ni siquiera Franklin, Jefferson o Lincoln--dudaba de la innata superioridad de su raza. Darwin hablaba bien de los negros porque también tenía respeto por este grupo, pero léanse sus opiniones sobre los pobladores de la Tierra del Fuego y se encontrará la convencional intolerancia de su época. Asimismo, su gentileza hacia las mujeres no denotaba un gran respeto por sus capacidades intelectuales. En una nota privada, particularmente hostil, si bien poco común, se expresaba así de las ventajas del matrimonio: "Compañía constante (una amistad en la vejez) que se sentirá interesada en uno; objeto para querer y retozar--en todos sentidos, mejor que un perro--; un hogar y alguien que cuide de él; el encanto de la música y la charla femenina. Estas cosas son buenas para nuestra salud".

La humanidad de Darwin, con todos sus puntos vulnerables, resplandece a lo largo de su vida y su obra. Podemos percibir la angustia de su conflicto interior cuando, luego de 20 de años de trabajo en la teoría de la selección natural, recibe una nota del naturalista inglés Alfred Russel Wallace que contiene la misma teoría concebida una noche durante un ataque de malaria. ¿Puede publicar y conservar su legítima prioridad, o debe apartarse? ¿Atrevida humanidad o virtud abstracta? Le escribe a Lyell, exhortándolo entre líneas a encontrar un camino honorable pero ventajoso: "Debería estar sumamente contento ahora por publicar un bosquejo de mis consideraciones generales... pero no puedo conve-

ncerme de que lo hago de una manera honrosa... Preferiría quemar mi libro entero antes que (Wallace) u otro hombre pensaran que me he conducido como un miserable... Mi querido amigo, perdóneme. Esta carta es un disparate, influida por sentimientos engañosos". (Lyell y otros amigos comprendieron la alusión y convinieron en publicar la nota de Wallace junto con fragmentos del bosquejo que Darwin había escrito en la década de 1840. En fecha reciente, Arnold Brackman ha sugerido que en realidad Darwin había plagiado de Wallace partes de su teoría, pero si atendemos a las fechas y a los lugares dicha acusación es inválida.)

De cualquier forma, esta polémica sólo atañe a un tema secundario llamado el principio de divergencia. La prioridad sobre la selección natural--la esencia de la teoría--no puede negársele a Darwin. El desarrolló la idea en 1838, cuando Wallace era un adolescente. Al respecto, así como en otros muchos incidentes de la vida de Darwin, comprendemos de la manera más directa y viva que la ciencia es en el fondo una empresa humana. Agradecemos a los hombres célebres esta lección fundamental.

Darwin murió en abril de 1882. Hubiera deseado ser enterrado en su querida aldea, pero el juicio del hombre educado le exigía un sitio en la Abadía de Westminster, al lado de Isaac Newton. Conforme su féretro entraba al enorme edificio, el coro entonaba un cántico compuesto para la ocasión. Su texto, tomado del Libro de los Proverbios, quizá pueda quedar como el testimonio más justo de la grandeza de Darwin: "Dichoso el hombre que ha encontrado la sabiduría y ha llegado a comprenderla. Pues su valor es más grande que el del rubí, y todas las cosas que se pueden desear no son comparables a ella".



CENTRO DE INVESTIGACION Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL IPN

EL DEPARTAMENTO DE GENETICA Y BIOLOGIA MOLECULAR
INVITA A LOS EGRESADOS DE LICENCIATURAS EN BIOLOGIA,
BIOQUIMICA, MEDICINA, QUIMICA, FARMACOLOGIA Y RAMAS AFINES A CURSAR:

MAESTRIA Y DOCTORADO EN GENETICA Y BIOLOGIA MOLECULAR

- REGULACION DE LA EXPRESION GENETICA
- BASES MOLECULARES DE LA PATOGENIA EN VIRUS, PROTOZOARIOS Y NEMATODOS
- BIOLOGIA MOLECULAR DE PROTEINAS RIBOSOMALES
- ONCOGENES
- INGENIERIA GENETICA

INICIO DE PROGRAMA : 1° De Septiembre de 1989

EXAMEN DE ADMISION : 8 de Agosto de 1989

GUIAS DE ESTUDIO PARA EL EXAMEN : A Partir del 3 de Junio de 1989

Informes: Departamento de Genética y Biología Molecular, Centro de Investigación y de Estudios

Avanzados del IPN, Av. IPN N° 2508 (Esq. Calzada Ticomán) Apartado Postal 14-740

C. P. 07000 México, D. F. Tels. 754 09 27 o 754 02 00 Ext. 108



CENTRO DE INVESTIGACION
Y DE ESTUDIOS AVANZADOS
DEL IPN