



GACETA

Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

ISSN 0123-0654

Volumen III, Número 6

Junio de 1999

Actividades de la Academia Conferencias

♦ 16 de junio: *Aspectos evolutivos y sistemáticos de los géneros Dendrophorbium y Pentacalia*. Por D. SANTIAGO DÍAZ PIEDRAHITA.

♦ 23 de junio: *Los macroinvertebrados y su valor como bioindicadores de la calidad del agua*. Por D. GABRIEL ROLDÁN PÉREZ.

II Congreso Nacional de Conservación de la Biodiversidad

Los señores Académicos D. LUIS E. MORA, y D. JOSÉ LOZANO han sido invitados a formar parte del Comité Académico del *II Congreso Nacional de Conservación de la Biodiversidad*.

ADN, computadoras y matemáticas

1. La biología matemática. Hasta hace poco, la interacción entre biología y matemáticas, se reducía al desarrollo de modelos estocásticos, estadísticos o determinísticos para explicar las diversas manifestaciones de los fenómenos biológicos. Esta área interdisciplinaria se suele llamar **biología matemática**. Uno de estos fenómenos es la *estructura del ADN* (ácido desoxirribonucleico). El interés por su interpretación matemática (modelos matemáticos) data de muchos años

atrás. De hecho, mi primer contacto con el tema fue una conferencia de S. ULAM, en la Universidad de Colorado, si mal no recuerdo en 1971. En las últimas décadas, la *teoría matemática de los nudos, enlaces y marañas* se ha usado en la búsqueda de un modelo. La razón de por qué usar esta teoría es que para realizar las funciones de copiado (replicación) y transmisión de la información, el ADN debe transformarse de una forma de nudo o enroscamiento a otra, utilizando como agentes cuatro *enzimas* o *bases*: *adenina* (A), *guanina* (G), *citocina* (C) y *tiamina* (T) (los nombres de las bases se usan también para designar a los nucleótidos que las contienen). Las enzimas controlan la geometría y la topología de las cuerdas de ADN durante las transformaciones, además de que cortan y empalman o ayustan (como dicen los marineros) los extremos de las cuerdas de ADN. Una exposición de un modelo de esta naturaleza se encuentra en el artículo *Lifting the curtain: using topology to probe the hidden action of enzymes*, de DE WITT SUMMERS, publicado en mayo de 1995 en las *Notices* de la *American Mathematical Society*. En él, SUMMERS dice lo siguiente: «La descripción y cuantización de la estructura tridimensional del ADN debida a la acción de estas enzimas

han requerido el uso de la geometría y la topología... El empleo de herramientas matemáticas y analíticas es especialmente importante porque no existe manera experimental de observar directamente la dinámica de la acción enzimática.» La matemática pretende, pues, deducir los mecanismos enzimáticos observando los cambios que las enzimas producen en la geometría y la topología del ADN. Según SUMMERS, esto requiere... «la construcción de modelos matemáticos de las acciones enzimáticas y su uso para analizar los resultados de experimentos enzimológicos topológicos.»

2. La matemática biológica. Recordemos que en los sistemas biológicos, el ADN es el gran calculador, al almacenar y manipular grandes cantidades de información. En este sentido, desde hace algún tiempo, se había notado que las funciones del ADN son semejantes a las de una computadora. En efecto, los dos procesos que describimos en seguida son muy análogos:

(a) la complejísima estructura de un ser vivo es el resultado de aplicar operaciones muy simples (copiar, empalmar, etc.) a la información inicial codificada en una sucesión de ADN;

(b) el resultado $f(w)$ de aplicar una función calculable al argumento (variable) w , es el resultado de aplicar

una combinación de funciones básicas sencillas a w , tal como lo hace una máquina de Turing.

En efecto, una secuencia sencilla de ADN puede asemejarse a una cuerda formada de una combinación de cuatro símbolos diferentes: A, G, C, T . Matemáticamente, esto significa que disponemos de un alfabeto de cuatro letras $S = \{A, G, C, T\}$ para codificar la información biológica, mientras que en una computadora electrónica codificamos la información usando el alfabeto $\{0, 1\}$. Por supuesto, los elementos de un alfabeto se llaman *letras*. El conjunto de las *palabras* (en el sentido usual) o, por qué no, *cuerdas*, que, por empalme, podemos formar con las letras de un alfabeto S se designa con S^* . Dos palabras se componen, pues, empalmando un extremo de la una con un extremo de la otra, obteniendo así una nueva palabra. Un lenguaje L sobre un alfabeto S es un subconjunto de S^* . Para que de un alfabeto podamos obtener algo coherente (con sentido), necesitamos una *gramática* (generativa), que, actuando sobre el alfabeto, nos diga cuándo hemos construido «buenas palabras». Intuitivamente, una *gramática generativa* es un conjunto finito de *reglas* (reglas de *reescritura*), que nos indican como construir «buenas palabras», por aplicación repetida, un número finito de veces, de estas reglas. Las palabras obtenidas en esta forma conforman lo que se llama el *lenguaje generado por la gramática*.

Partiendo de esta *teoría de los lenguajes formales*, LILA KARI, en su artículo *DNA computing: arrival of biological mathematics* (The Mathematical Intelligencer, **19**, 2 (1997), 9-22), muestra (para el gran público) cómo se construyen modelos para la computación biológica (por vía de la recombinación del ADN), llamados *sistemas de em-*

palme (*splicing systems*). Estos sistemas fueron introducidos por TOM HEAD en 1987 (*Formal language theory and DNA: an analysis of the generative capacity of recombinant behaviors*, Bulletin of Mathematical Biology, **49** (1987), 737-759) Estos modelos, desde el punto de vista de la calculabilidad, *son completos*, es decir, pueden realizar cualquier *algoritmo o procedimiento efectivo*. Otra manera más precisa de decir esto, es la siguiente: todo aquello que es calculable por una máquina de Turing, es también calculable por un sistema de empalme. Como la calculabilidad por medio de máquinas de Turing es lo que da piso a las computadoras electrónicas, lo anterior quiere decir que, al menos teóricamente, *una computadora biológica no es un sueño*. Pero no lo es tampoco desde el punto de vista práctico.

De hecho todo este asunto cobró auge cuando, en 1994, L. ADLEMAN (*Molecular computation of solutions to combinatorial problems*, Science, **266** (nov. 1994), 1021-1024), **resolvió un problema combinatorio** (un sencillo caso particular del difícilísimo *problema de hallar un camino dirigido hamiltoniano en un grafo*) **usando un experimento de biología molecular**, mostrando así que **es posible construir una computadora biológica**. Pero no sólo se mostró su factibilidad, sino que hay cosas más interesantes: en este *modelo biológico experimental*, se ha calculado que el número de operaciones por segundo es del orden de $1,2 \times 10^{18}$, lo que es aproximadamente 1'200.000 veces más rápido que cualquier supercomputadora existente.

Por otra parte, el almacenamiento de información en moléculas de ADN permitiría una densidad de información de aproximadamente 1 bit por nanómetro cúbico, mientras que

en los medios de almacenamiento electrónicos actuales sólo tienen una densidad de aproximadamente 1 bit por 10^{12} nanómetros cúbicos. Una rápida estimación nos muestra que una sola memoria de ADN podría albergar más palabras (información) que, reunidas, todas las memorias electrónicas construidas hasta hoy.

Naturalmente, y en su solución se trabaja ahincadamente, subsiste la dificultad de «controlar» las «máquinas biológicas».

En la Universidad Nacional de Colombia, existe un grupo interdisciplinario de matemáticos e ingenieros que trabaja sobre estos temas. Los interesados pueden dirigirse a la profesora Da. LUZ GLORIA TORRES a la siguiente dirección:

ltorres@matematicas.unal.edu.co
VÍCTOR SAMUEL ALBIS
Departamento de Matemáticas y Estadística, Universidad Nacional de Colombia

Obituario

Clemente Garavito Baraya

El 28 de mayo del presente año, falleció, en Santafé de Bogotá, después de una larga y penosa enfermedad, D. CLEMENTE GARAVITO BARAYA, miembro de número de esta Academia. D. Clemente reemplazó en la silla 11, a D. CÉSAR URIBE PIÉDRAHITA. Fue profesor de astronomía, geofísica y astronomía en las Universidades Nacional de Colombia, Javeriana, Jorge Tadeo Lozano y La Gran Colombia.

Perteneció a muchas otras asociaciones como la *Sociedad Colombiana de Física* (miembro fundador), la *Asociación colombiana para el avance de las ciencias* (miembro y presidente fundador), la *Sociedad geográfica de Colombia* (de la cual fue presidente), de la *Real sociedad geográfica de España*, la *Sociedad geográfica de Lima* y la *Sociedad de geografía e histo-*

ria de Guatemala.

Su participación por Colombia en el *Congreso Internacional de Geofísica* (Helsinki, 1960), la *Conferencia sobre la Tierra Sólida* (Buenos Aires, 1970), la *Reunión del IPGH sobre Radiación Solar* (Huancayo, 1982) y en el *Año Geofísico Internacional* (1957) figuran entre muchas de sus participaciones en congresos, simposios y seminarios nacionales e internacionales.

Los gobiernos de Colombia, Argentina, Guatemala, Corea y Polonia le confirieron distinciones, entre ellas la *Cruz de Boyacá* (en la categoría de Caballero, 1973) y la *Orden de Mayo al Mérito* (en la categoría de Gran Oficial, 1972) de la República Argentina.

Sus trabajos sobre geomagnetismo, gravimetría y astronomía aparecieron especialmente en el *Boletín de la Sociedad Geográfica de Colombia* y en el *Anuario del Observatorio Astronómico Nacional*.

De sus importantes realizaciones cabe destacar la creación del *Planetario de Bogotá* (1969) y la del *Observatorio magnético de Fúquene* (1957).

Juan Herkrath Müller

En Santafé de Bogotá, el 24 de mayo de 1999, murió el señor académico Honorario D. JUAN HERKRATH MÜLLER (1991), quien había nacido el 22 de marzo de 1922, en Colonia (Alemania). Después de terminar sus estudios universitarios en la Universidad de Bonn (1945-1952), viajó a Colombia contratado como profesor de la Universidad Nacional, y como tal permaneció hasta 1994. Fue miembro fundador de la *Sociedad Colombiana de Física* y de la *Asociación Colombiana para el Avance de las Ciencias*. Su meritoria labor organizadora en pro de los estudios profesio-

nales de física en Colombia, comenzó en las *Comisiones* que prepararon la creación del *Departamento de Física en la Facultad de Ingeniería* (1959) y de la *carrera de física* (1962) de la Universidad Nacional, en Bogotá. Posteriormente impulsó el convenio entre las Universidades de Maguncia (Alemania) y Nacional de Bogotá, para consolidar, en esta última, los estudios de pregrado y posgrado, con la traída de profesores y laboratorios alemanes.

En la Universidad Nacional, en Bogotá, se desempeñó, además de profesor, como director del Departamento de Física y decano de la Facultad de Ciencias.

Participó en el *Año Geofísico Internacional* (1957) y desde 1965 fue miembro del Consejo Técnico del ICONTEC, además de coordinar y participar en diversos comités sobre investigación y enseñanza de la física creados por COLCIENCIAS y el ICFES.

Durante mucho tiempo fue codirector de la célebre y ya desaparecida revista *Eco*, órgano del *Instituto Cultural Colombo-Alemán*. Por otra parte, representó al país en numerosas ocasiones en asambleas, congresos y simposios internacionales.

Irving Ezra Segal (1918-1998)

Descendiente académicamente, en línea directa, de K. WEIERSTRASS, a través de SCHWARZ, FEJÉR, M. RIESZ y EINER HILLE, una de las características esenciales de la obra de SEGAL es que *sus teoremas son parte de teorías*, y este **sentido de la naturaleza global de la investigación matemática** es quizá uno de los valiosos legados que dejó a sus estudiantes. Su extraordinario sentido de lo esencial, le condujo, por ejemplo, a convertir la teoría del movimiento browniano en una teoría general de la integración gaus-

siana sobre el espacio de HILBERT. De manera semejante, antes de SEGAL, la teoría cuántica, especialmente la de sistemas con un número infinito de grados de libertad, estaba ligada a representaciones particulares mediante operadores en algún espacio de HILBERT. Después de él, la estructura de relevancia física en este problema fue la **C-álgebra** generada por los observables. Estos dos desarrollos los unificó en una teoría de integración algebraica, aplicable tanto a sistemas conmutativos como a no conmutativos, con aplicaciones a procesos estocásticos, una fórmula de PLANCHEREL para grupos unimodulares localmente compactos del tipo I y la implementación de transformadas canónicas en sistemas cuánticos con un número infinito de grados de libertad.

Los últimos treinta años de su vida profesional, los dedicó a la teoría de las deformaciones o casos límite de las álgebras de LIE (para los físicos, las deformaciones son «contracciones»). La mecánica clásica es un caso límite de la mecánica cuántica; la correspondiente álgebra conmutativa de LIE es una deformación del álgebra de HEISENBERG. La mecánica no relativista es un caso límite de la mecánica relativista; el álgebra de LIE del grupo de GALILEO es una deformación del álgebra de LIE del grupo inhomogéneo de LORENTZ. Y ésta, mostró SEGAL, es una deformación del álgebra de LIE del grupo conforme, y así llegamos al final del camino: *esta álgebra de LIE es rígida*.

La visión cosmológica de SEGAL es la siguiente: el universo es el cubrimiento universal **M** de la compactación conforme del espacio de MIN-KOWSKI -el universo esférico de EINSTEIN- con el cubrimiento universal del grupo conforme como grupo de simetría

Una nueva revista sobre filosofía e historia de la ciencia

Las *Universidades de Sao Paulo* (Brasil) y *Paris7- Denis Diderot* (Francia), han hecho realidad un nuevo proyecto editorial: *Epsitémologies. Philosophie, science, histoire*. Sus editores son los señores profesores D. PABLO MARICONDA (Sao Paulo), MICHEL PATY (París) y JEAN-JACQUES SZCZECINIARZ (Burdeos). La nueva publicación quiere establecer un lugar de reflexión sobre las estrechas relaciones entre las ciencias y la filosofía, tal como lo testimonia la historia. El desarrollo excepcional del pensamiento científico y su penetración en todos los sectores de la fibra social demandan la formulación y el análisis de nuevas preguntas sobre esta urdimbre. Algunos científicos -incluyendo a algunos de los mejores- ya se han dedicado a estos asuntos es porque de alguna manera han adquirido los elementos indispensables de una cultura filosófica e histórica. Los filósofos, en general, carecen de una cultura científica, o por lo menos de los conceptos que les permitan contribuir a analizar pertinentemente o discernir las virtualidades filosóficas de las ciencias contemporáneas. La carencia de una re-orientación crítica y de un diálogo verdadero entre estos dominios diferentes del pensamiento, lleva al desarrollo del reduccionismo, sea en el sentido de la valoración excesiva de los resultados positivos de una disciplina de las ciencias «duras», sea en el de un relativismo extremo (psicologismo, sociologismo) que niegan ambos la especificidad del hecho científico.

Se deben, pues, desarrollar las nuevas formas filosóficas que reclaman los conocimientos científicos de nuestro tiempo. La filosofía podrá así reanudar su gran tradición de aper-

tura hacia la ciencia, reencontrando los antiguos lazos bajo nuevas figuras, adaptadas, y recobrará el lugar que le corresponde en la corriente del pensamiento científico. Considerada de esta manera, la relación entre la filosofía y la ciencia implica un llamado particular a la historia de las ciencias, que las previene a cada una de ellas contra una visión puramente formalista o pragmática. A su vez, la dimensión filosófica y la preocupación por los contenidos conceptuales preservan la historia de las ciencias de las tentaciones historicistas o positivistas. Esta manera de ver las cosas es además adecuada para colocar a las ciencias, en su significación esencial, al alcance de los no especialistas, devolviéndole el sentido a las exigencias filosóficas y políticas de la vulgarización y la pedagogía. Las problemáticas filosóficas de las ciencias conciernen también a los procesos de invención y de interpretación, así como también a la actividad científica como práctica social, a las aplicaciones de estos conocimientos y sus repercusiones éticas y políticas.

Dos miembros de la Academia, D. LUIS CARLOS ARBOLEDA y D. VÍCTOR ALBIS, han sido llamados a formar parte del *Comité de patrocinio* de la nueva revista.

Los académicos interesados en contribuir a esta revista pueden dirigirse al profesor PATY:

paty@paris7.jussieu.fr

Eventos de interés

Regímenes de cambio costeros. 4th Open Science Meeting, LOICZ. En Bahía Blanca, Argentina, del 15 al 18 de noviembre de 1999, organizado por el LOICZ y el Instituto Argentino de Oceanografía, con el apoyo de la Academia de Ciencias Neerlandesa. El encuentro está abierto a los científicos, investigadores y administradores interesados en los regímenes de cambio en la zona costera. Las personas interesadas pueden dirigirse a la siguiente dirección electrónica para obtener mayor información:

<loicz@nioz.nl>

GACETA

de la
Academia Colombiana de
Ciencias Exactas,
Físicas y Naturales

D. Luis Eduardo Mora Osejo
Presidente

D. Moisés Wasserman Lerner
Vicepresidente

D. José Lozano Iriarte
Secretario Ejecutivo

Da. Inés Bernal de Ramírez
Tesorera

D. Santiago Díaz Piedrahita
Director de la Revista

D. Víctor Albis González
Director de la Biblioteca
Editor de la Gaceta

La Gaceta de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales informa sobre sus actividades, se publica mensualmente y se envía a los miembros de la Academia.

En la Gaceta aparecerán notas editoriales, reseñas de libros, boletines de adquisición de la Biblioteca, noticias sobre las publicaciones de la corporación, pequeños artículos de interés general y otras secciones más, a las cuales están invitados a contribuir todos los académicos. La fecha límite para recibir información o reportes es el último día hábil de cada mes. De ser posible pedimos que las contribuciones se procesen y envíen en disquete, utilizando uno de los siguientes procesadores de palabras para IBM-PC o compatibles: Word Perfect, Microsoft Word o Word de Windows. Se permite copiar o reproducir parcial o totalmente el material publicado en la Gaceta siempre y cuando se haga referencia a su lugar de origen y se envíe una copia de la publicación a la Academia.

Apartado Aéreo 44763
Santafé de Bogotá, D. C., Colombia
Transversal 27, No.39A-63
Teléfonos: (571) 244 31 86; 268 2846
Fax: (571) 368 03 65
URL: <http://www.accefyn.org.co>
e-mail: valbis@accefyn.org.co