



Cinvestav

26

CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS AVANZADOS DEL INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL | VOL. 26, NÚM. 03 | JULIO - SEPTIEMBRE 2007



AGENDAS DE INVESTIGACIÓN
MULTIDISCIPLINARIAS

Diálogos

Cultura de la salud y calidad de vida

Semana 5

del 23 al 28 de octubre



Diálogos entre expertos y la sociedad por un legado universal a favor del bienestar para todos

Problemas universales de salud

SIDA, tuberculosis, cáncer, cardiopatías, envejecimiento, adicciones, etc

Problemas globales de la alimentación

Obesidad, desnutrición, anorexia, bulimia, dietas, complementos y suplementos, etc.

Logros en medicina y biotecnología

Revolución biotecnológica, medicina personalizada, genética del envejecimiento, bioética, etc.

Cultura de Salud: hábitos sanos

Salud desde el vientre, ejercicio, risa, sueño, esparcimiento, envejeciendo sanamente, etc

Calidad de vida: bienestar

Compromiso personal, laboral, social y ecológico

www.monterreyforum2007.org



UNESCO - Asociado principal del
Foro Universal de las Culturas
Monterrey 2007



Forum
UNIVERSAL DE LAS CULTURAS
Monterrey 2007

Cinvestav

julio - septiembre 2007



AGENDAS DE INVESTIGACIÓN
MULTIDISCIPLINARIAS

Contenido

Editorial

Luz Manuel Santos Trigo 3

Reconsiderando las capacidades del citoesqueleto de actina de *Entamoeba histolytica*

Patricia Talamás, Amelia Ríos y Verónica I. Hernández Ramírez 4

Gasificación del carbón mineral: fuente de energía limpia y de productos de alto valor agregado

María Esther Sánchez Castro, Salvador Carlos Hernández y Arturo I. Martínez Enriquez 10

Ingeniería y física biomédicas en el Cinvestav-Monterrey

Rosa Elena Sanmiguel Domínguez, Hilda Josefina Mercado Uribe, Jesús Santana Solano, David Gutiérrez Ruiz, Moisés Santillán Zerón y M. Ángeles 18

Extraña correspondencia entre dos mentes brillantes

Onofre Rojo Asenjo 30

Amibas de vida libre como organismos patógenos en el humano

Mineko Shibayama Salas e Isaac Cervantes-Sandoval 40

La química del color

José Adrián Peña Hueso, Adriana Esparza Ruiz y Raúl Colorado Peralta 46

Patrones de acceso a los servicios bibliográficos del Cinvestav

María Elena Luna-Morales 58

Y sin embargo se mueve

J. Carlos Ruiz Suárez 68

¿Es terrestre la vida extraterrestre?

Manuel Rodríguez Achach y Rodrigo Huerta Quintanilla 76

Noticias Cinvestav 78

La revista Cinvestav, antes *Avance y Perspectiva*, órgano oficial del Cinvestav (Centro de Investigación y de Estudios Avanzados) es una publicación trimestral dedicada a la difusión y divulgación de la actividad científica y de la vida académica del Centro. Los artículos publicados son responsabilidad de sus autores. Se autoriza la publicación parcial o total del material publicado con el requisito de que se cite la fuente. La edición correspondiente a julio-septiembre 2007, volumen 26, número 3 se terminó de imprimir en octubre de 2007. Tiraje: 5000 ejemplares. Certificado de Reserva de Derecho de Autor 04-2006-051210075200-102, expedido por la Dirección General de Derechos de Autor de la Secretaría de Educación Pública. Certificado de Licitud de Título 13538 y Certificado de Licitud de Contenidos 11111, otorgados por la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. ISSN 1870-5499. Negativos, impresión y encuadernación: Lito Laser S.A. de C.V., Primera Privada de Aquiles Serdán núm. 28, Col. Santo Domingo Azcapotzalco, CP 02160, Del. Gustavo A. Madero, México DF. Sede del Cinvestav: Av. Instituto Politécnico Nacional núm. 2508, Col. San Pedro Zacatenco, CP 07360, Del. Gustavo A. Madero, México DF. Web del Cinvestav: www.cinvestav.mx



Cinvestav

CINVESTAV

René Asomoza Palacio
DIRECTOR GENERAL

Arnulfo Albores Medina
SECRETARIO ACADÉMICO

Marco Antonio Meraz Ríos
SECRETARIO DE PLANEACIÓN

Guillermo Augusto Tena y Pérez
SECRETARIO ADMINISTRATIVO

Janía Argüelles Castro
JEFE DE DIFUSIÓN

REVISTA CINVESTAV

Luz Manuel Santos Trigo
DIRECTOR EDITORIAL

Luisa Bonilla Canepa
Josefina Miranda López
ASISTENCIA EDITORIAL

Gordana Segota
Carlos Martínez
CORRECCIÓN DE ESTILO

SERIF
Héctor Montes de Oca
Carolina Rodríguez
DISEÑO

SUSCRIPCIONES Y DISTRIBUCIÓN
revista@cinvestav.mx
T/F (55) 50 61 33 71

CONSEJO EDITORIAL

Marcelino Cerejido Mattioli
FISIOLOGÍA

Carlos Artemio Coello Coello
SECCIÓN DE COMPUTACIÓN

Antonio Fernández Fuentes
UNIDAD SALTILLO

Eugenio Frixione Garduño
SECCIÓN DE METODOLOGÍA
Y TEORÍA DE LA CIENCIA

Gabriel López Castro
FÍSICA

Luis Enrique Moreno Armella
MATEMÁTICA EDUCATIVA

José Luis Naredo Villagrán
UNIDAD QUERÉTARO

Rodrigo Tarkus Patiño Díaz
UNIDAD MÉRIDA

Ángeles Paz Sandoval
QUÍMICA

Betzabet Quintanilla Vega
SECCIÓN EXTERNA DE TOXICOLOGÍA

Eduardo Remedi Alione
INVESTIGACIONES EDUCATIVAS

Arturo Sánchez Carmona
UNIDAD GUADALAJARA

Editorial

¿Qué significa producir conocimiento disciplinar?, ¿qué condiciones favorecen la generación de conocimiento disciplinar?, ¿cómo se construyen las agendas de investigación y desarrollo tecnológico?, ¿cuál es el impacto del desarrollo del conocimiento científico en la sociedad? La discusión de estas preguntas implica hablar de la importancia que tienen las instituciones en el desarrollo del conocimiento científico y tecnológico, la formación de recursos humanos especializados, la creación de grupos de investigación que colabore en los temas de la agenda internacional de investigación, la relación entre el desarrollo social y los temas de investigación, así como la necesidad de constantemente ajustar los temas y formas de investigar los desarrollos y problemas de la sociedad.

En el Cinvestav, las disciplinas académicas se agrupan en cuatro áreas (ciencias exactas y naturales, ciencias biológicas y de la salud, tecnología y ciencias de la ingeniería, y ciencias sociales), con la participación de aproximadamente 560 investigadores, quienes, en su mayoría, coordinan proyectos de investigación y desarrollo que reciben financiamiento externo (alrededor de 360 proyectos).

La comunidad académica del Cinvestav participa notablemente en la generación de conocimiento científico y en el desarrollo tecnológico en el marco de una agenda internacional y nacional de investigación. En este contexto, la interacción notable con distintos grupos de investigación no sólo le permite a la comunidad participar en la búsqueda de conocimiento frontera, sino también constantemente incorporar en sus dominios de investigación nuevos métodos y formas de trabajo. ¿Cómo se promueve la innovación en los proyectos o productos de investigación? y ¿en qué medida la innovación contribuye al desarrollo del conocimiento científico y tecnológico? En algunas universidades, por ejemplo, la innovación es un eje de desarrollo importante; se impulsan actividades a fin de que los estudiantes participen en eventos públicos, donde puedan exhibir diseños de artefactos (desde un pelador de papas hasta autos electrónicos o robots), propuestas arquitectónicas sustentables, proyectos dirigidos al uso de energía solar, etcétera. Algunos prototipos presentados han llegado a desarrollarse a nivel industrial con el apoyo de empresas interesadas. Pero, ¿cómo promover de manera continua la innovación en las distintas áreas que se cultivan en el Cinvestav? y ¿qué significa innovar en campos como las matemáticas, la biología o las ciencias sociales? La discusión de este tipo de preguntas puede servir a la comunidad del centro para construir un marco en que se fomenten estrategias de innovación en las disciplinas.

Un componente importante, que no aparece explícitamente en los programas de investigación científica, es la necesidad de establecer una comunicación directa entre la comunidad científica y la sociedad en su conjunto. Es decir, la relevancia de que el científico no sólo publique los resultados de investigación en artículos o revistas especializadas, sino que también desarrolle el lenguaje apropiado y los recursos o medios para presentar los avances de la ciencia a un público amplio. En este contexto, la sociedad se beneficiará al enterarse de los problemas de estudio y avances de la investigación científica y tecnológica; de la misma manera, la comunidad científica puede incorporar información de los problemas sociales relevantes en la agenda de investigación. Es decir, se establece una relación de dependencia entre la comunidad científica y la sociedad.

En universidades reconocidas internacionalmente existen programas que alientan la participación directa de los científicos en actividades cuyo objetivo es informar a la sociedad sobre el quehacer de la ciencia, así como motivar a los jóvenes en el estudio de las ciencias en general. Aquí, en el Cinvestav, es importante establecer programas similares para que la comunidad científica interactúe con la sociedad en su conjunto.

En este número de la revista Cinvestav se publican algunos trabajos que dan cuenta del desarrollo y resultados de proyectos de investigación y de la agenda de trabajo de algunos grupos académicos. Se invita a los lectores a enviar sus comentarios y sugerencias sobre los contenidos que se publican y propuestas sobre temas que consideren relevantes incluir en la revista.

Luz Manuel Santos Trigo
msantos@cinvestav.mx

Reconsiderando las capacidades del citoesqueleto de actina de *Entamoeba histolytica*

DESDE HACE VARIOS AÑOS, INVESTIGADORES DEL DEPARTAMENTO DE PATOLOGÍA EXPERIMENTAL DEL CINVESTAV-ZACATENCO ESTUDIAN LA BIOLOGÍA CELULAR DE *ENTAMOEBAS HISTOLYTICAS*. SUS ANÁLISIS SE ENFOCAN EN EL COMPORTAMIENTO DEL CITOESQUELETO DE ACTINA. BASÁNDOSE EN UN MODELO DE INTERACCIÓN DE LOS TROFOZOITOS CON PROTEÍNAS DE LA MATRIZ EXTRACELULAR, HAN LOGRADO ALGUNOS AVANCES SIGNIFICATIVOS EN EL TERRENO DE LA PARASITOLOGÍA.

Patricia Talamás, Amelia Ríos y Verónica I. Hernández Ramírez

La parasitología es la rama de la biología que estudia las relaciones entre dos seres vivos en donde uno de ellos –el parásito– obtiene todo el beneficio de la asociación causando daño al huésped, lo que se traduce en enfermedad y/o muerte. Los parásitos causan enfermedades en los humanos, animales y plantas.

Uno de los objetivos de esta rama científica es aprender a curar y erradicar dichas enfermedades pero, para lograrlo, primero es necesario conocer a fondo la naturaleza de los parásitos. Desde el punto de vista biológico, se trata de organismos relativamente simples, con capacidad para escapar de las defensas del huésped. A lo largo del tiempo ha sido necesario recurrir a distintas estrategias para su estudio

y utilizar conocimientos de diferentes ramas del área biológica y médica, concretamente de la genética, la inmunología, la biología celular y molecular y la bioquímica. Gracias a los avances tecnológicos, en la actualidad se cuenta con herramientas y aparatos que facilitan el análisis, tales como los microscopios, los secuenciadores y los espectrómetros de masas, entre otros.

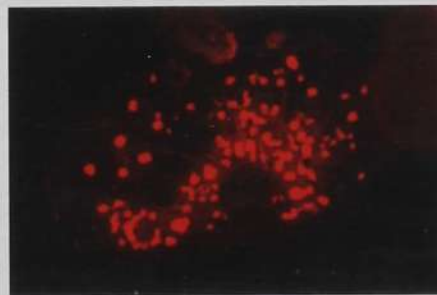
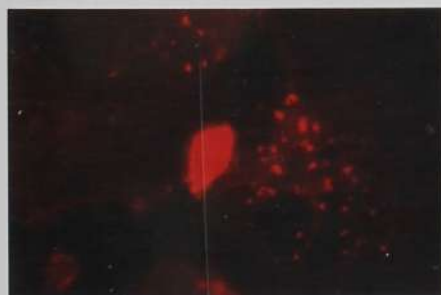
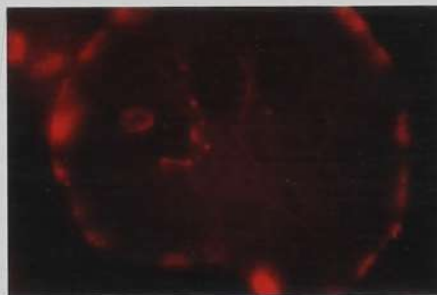
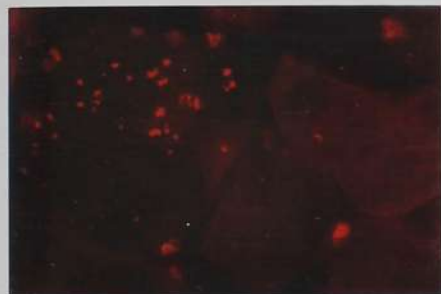
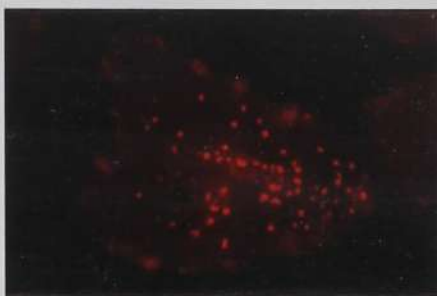
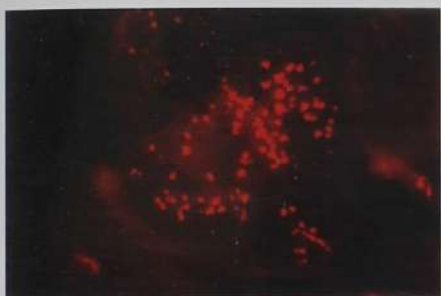
En México abundan las parasitosis, dadas las condiciones de pobreza y subdesarrollo que prevalecen en gran parte del país, inclusive en zonas urbanas. Entre éstas podemos mencionar la amibiasis, ampliamente conocida por la mayoría de la población, que ocasiona el parásito *Entamoeba histolytica*.

PATRICIA TALAMÁS Química bacterióloga parasitóloga por la Universidad Autónoma de Chihuahua. Maestra y Doctora en Ciencias, en la especialidad de Biología Celular, por el Cinvestav. Realizó su estancia posdoctoral en NYU Medical Center, Nueva York (EUA). Es investigadora titular en el Departamento de Patología Experimental. Perteneció al Sistema Nacional de Investigadores (nivel 2). Sus líneas de investigación son biología celular (citoesqueleto de actina, señalización, transporte vesicular) e inmunología (inflamación, COX-2 y producción de prostaglandina E2, subpoblaciones de linfocitos T, células T reguladoras, citoquinas) de parásitos protozoarios, principalmente *Entamoeba histolytica* y *Leishmania mexicana*. ptr@cinvestav.mx

AMELIA RÍOS Químico fármaco-bióloga por la Universidad Autónoma de Coahuila. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores (nivel 1). Hasta agosto de 2006 se desempeñó como auxiliar de investigación en el Departamento de Patología Experimental, en el área de investigación de la estructura y funcionalidad del citoesqueleto de *E. histolytica*. Actualmente es auxiliar de investigación en la Unidad Monterrey del Cinvestav. arios@cinvestav.mx

VERÓNICA I. HERNÁNDEZ RAMÍREZ Bióloga egresada de la Escuela Nacional de Estudios Profesionales Iztacala, UNAM. Es maestra en Ciencias por el Departamento de Patología Experimental del Cinvestav, y estudiante de doctorado en la Escuela Superior de Medicina, IPN. vhernandez@cinvestav.mx

El citoesqueleto es un organelo intracelular que consiste en una estructura filamentosa altamente dinámica. Se extiende por todo el citoplasma celular, proporciona soporte a la célula, le permite el movimiento y, en el caso de *E. histolytica*, resulta importante para que el parásito pueda causar el daño en el huésped.



El citoesqueleto de actina es un organelo intracelular altamente dinámico que cambia su forma en función de las necesidades de la célula. En el caso de *E. histolytica* se muestra (en color rojo) la versatilidad en las estructuras formadas por actina y cuyas funciones (soporte, adhesión, movimiento, penetración) son importantes para que el parásito pueda causar daño en el hospedero.

Entre las manifestaciones clínicas originadas por *Entamoeba histolytica* figuran algunas variantes de la amibiasis intestinal; la colitis ulcerativa es la más frecuente, seguido de la apendicitis amibiana, el mega colon tóxico, la disentería amibiana fulminante y el ameboma del colon. El absceso hepático es la complicación extraintestinal más frecuente de la amibiasis y una de las más graves; suele presentarse en adultos y es más común en los hombres que en las mujeres.

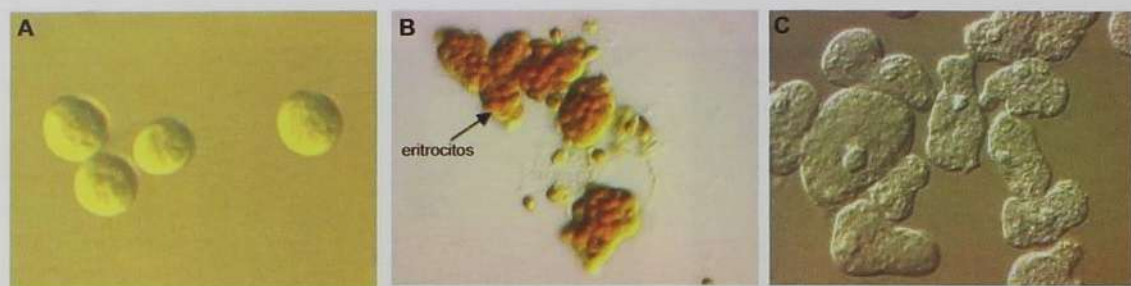


Figura 1. Aspecto microscópico de quistes y trofozoitos de *Entamoeba histolytica*. Muestras de heces fecales humanas (A y B) y de amibas en cultivo axénico (C) se procesaron para microscopía óptica de luz. A) Quistes; B) Trofozoitos amibianos que han fagocitado eritrocitos; C) Trofozoitos en cultivo. A y B, material proporcionado por la QBP Guadalupe Castañón.

La Organización Mundial de la Salud define la amibiasis como "la condición de portar el parásito *E. histolytica* con o sin manifestaciones clínicas" [1]. La amibiasis se encuentra ampliamente distribuida en el mundo, y dentro de las áreas con mayor incidencia están la India, el sur y el oeste de África, el Lejano Oriente, así como el sur y el centro de América [2]. Se calcula que en el mundo hay alrededor de 50 millones de personas infectadas, y de éstas, 10% desarrolla la enfermedad, llegando a ser letal en 0.1% de los casos [3]. La amibiasis afecta principalmente a países en desarrollo, entre ellos México.

Encuestas epidemiológicas de grupos seleccionados en diversas poblaciones alrededor del mundo han revelado que la frecuencia de individuos con anticuerpos anti-amiba varía entre 2.2 y 11.4%, dependiendo de la edad, el género y las condiciones sanitarias de la población. La frecuencia de individuos con anticuerpos séricos anti-amibianos en la República Mexicana fue de 5.95 y varió según el área de 9.95% en la centro-occidental a 2.53% en la nor-oriental. En la ciudad de México, hasta 14% de los casos infantiles de diarrea aguda que requirieron de hospitalización, se asociaron con *E. histolytica*. Las encuestas de estudios serológicos mostraron que aproximadamente 5.98% de los individuos habían tenido invasión de la mucosa intestinal o del hígado, pero la amibiasis disenterica suele ser de cinco a 50 veces más frecuente que el absceso hepático amibiano, principalmente en los niños [4].

Entre las manifestaciones clínicas ocasionadas por este parásito se pueden mencionar algunas variantes de la amibiasis intestinal, en sus diferentes grados de severidad, como son la colitis ulcerativa, que es la más frecuente, la apendicitis amibiana, el mega colon tóxico,

la disentería amibiana fulminante y el ameboma del colon. El absceso hepático es la complicación extraintestinal más frecuente de la amibiasis y una de las más graves; suele presentarse en adultos y es más común en los hombres que en las mujeres [4]. Además de ser una enfermedad potencialmente letal, la amibiasis tiene repercusiones socioeconómicas importantes, ya que las infecciones incapacitantes son bastante más frecuentes en los hombres adultos en edad productiva, requiriéndose de varias semanas de hospitalización y de dos a tres meses para la recuperación plena. En México, la amibiasis se considera como una enfermedad asociada con la pobreza y bajos niveles de sanidad.

Entamoeba histolytica es un parásito protozoario unicelular exclusivo del hombre. En su ciclo de vida adopta dos formas diferentes conocidas como *quiste* (figura 1A), que es la forma que causa la infección, y *trofozoito* (figura 1C), que es la forma invasora que ocasiona la enfermedad, es decir, el daño. Los quistes son ingeridos a través del consumo de agua o alimentos contaminados con restos de materia fecal. Estos quistes son estructuras unicelulares redondas u ovoides, miden entre 3.5 a 25 μm de diámetro y están cubiertos por una capa gruesa de quitina. Por lo general, cada quiste tiene cuatro núcleos. Cuando los quistes pasan a través del aparato digestivo sufren un proceso llamado *desenquistamiento*, en el cual pierden la cubierta de quitina y liberan a los trofozoitos, los cuales pueden fagocitar eritrocitos cuando han causado daño en la mucosa intestinal (figura 1B). El trofozoito es una célula ameboide, que se mueve con mucha rapidez y que cambia de forma fácilmente. Puede medir desde 15 hasta 40 μm de diámetro, contiene pocos organelos en

su interior aunque al microscopio de luz se observa una gran cantidad de vacuolas y un núcleo (figura 1C); este parásito se multiplica por división simple en el interior del ser humano, ya sea en el intestino o en el hígado [4].

Muchos aspectos de la biología de este parásito se han podido estudiar gracias a la posibilidad de "cultivar" los trofozoitos en el laboratorio, es decir, en cajas de plástico o en botellas de vidrio y bajo condiciones de temperatura y oxígeno controladas [5].

Como se mencionó antes, *E. histolytica* en su forma invasora, el trofozoito, es una célula altamente dinámica, en la cual el citoesqueleto participa en una gran cantidad de funciones celulares, mismas que resultan importantes para que el parásito pueda causar el daño en el huésped. La invasión y daño de la mucosa intestinal o del tejido hepático es un proceso activo mediado por el parásito, que se puede dividir en tres etapas principales. La primera es la adhesión o contacto estrecho del trofozoito con las células de la mucosa intestinal o con las células inflamatorias. Una vez que los trofozoitos se han adherido a la célula blanco, da inicio la segunda etapa que consiste en la muerte de la célula, proceso conocido como *citólisis* y en el cual participan diferentes componentes amibianos conocidos como factores de virulencia. Por último, durante la tercera etapa del proceso, la *fagocitosis*, los trofozoitos ingieren células y restos celulares completando así el proceso de invasión tisular, lo cual origina úlceras y necrosis tisular [6]. Para llevar a cabo este proceso, la amiba requiere de la participación del citoesqueleto.

El citoesqueleto es un organelo intracelular que consiste en una estructura filamentosa altamente dinámica, que se extiende por todo el citoplasma celular, y una de cuyas funciones principales es dar soporte a la célula y permitirle el movimiento. En las células de los organismos eucariontes superiores, como es el caso de los mamíferos, el citoesqueleto celular está constituido por tres clases principales de estructuras filamentosas: los microtúbulos (MT), los filamentos intermedios (FI) y los microfilamentos (MF), estos últimos constituidos por actina (figura 2). La actina es una proteína altamente conservada en la escala evolutiva que puede llevar a cabo una amplia variedad de funciones, la mayoría de las cuales depende de su capacidad intrínseca para ensamblarse y desensamblarse rápidamente en estructuras filamentosas [7].

Principales componentes del citoesqueleto en células eucarióticas superiores (células de mamíferos)

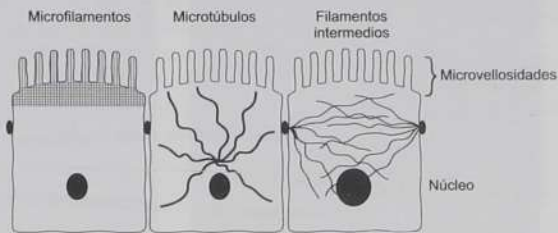
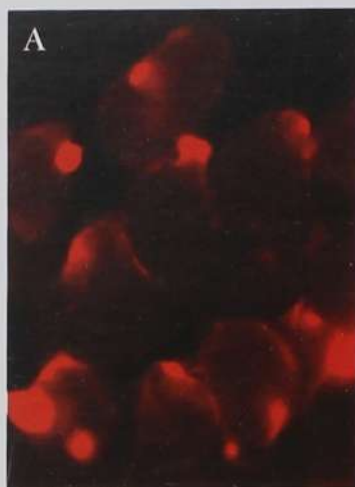


Figura 2. Esquema de los componentes del citoesqueleto en células de eucariotes superiores (elaborado por Ignacio Araoz Martínez).

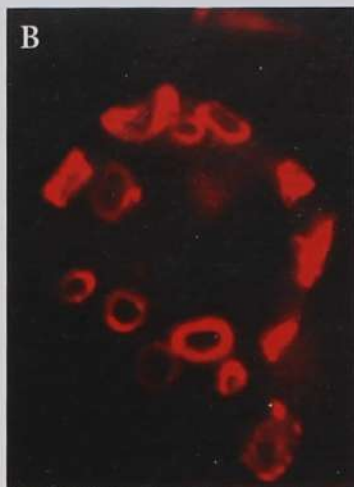
Los eucariontes inferiores, como es el caso de *Entamoeba histolytica*, son organismos modelo muy útiles para el estudio de la función y regulación del citoesqueleto de actina. A raíz de la purificación de la actina y de la clonación del gen correspondiente se abrieron muchas líneas de investigación, y un número importante de grupos de investigación en todo el mundo han trabajado en este aspecto de la biología del parásito [8]. Sin embargo, aún no se conocen con detalle muchos aspectos de la biología del citoesqueleto y su dinámica durante las etapas involucradas en la patogénesis, es decir, la adhesión, la citólisis y la fagocitosis.

En nuestro laboratorio, desde hace varios años hemos estado trabajando con *Entamoeba histolytica* estudiando diversos aspectos de la biología celular de este parásito. En particular nos ha interesado el comportamiento del citoesqueleto de actina y, gracias al diseño de un modelo de interacción de los trofozoitos con proteínas de la matriz extracelular [9], se han logrado algunos avances en este terreno. En la mayoría de los tejidos, las células se encuentran rodeadas por una matriz extracelular que consiste en una red formada por diferentes proteínas y azúcares, entre los cuales se pueden mencionar la colágena (COL), la fibronectina (FN), la laminina (LAM) y los glicosaminoglicanos como el heparán sulfato y el condroitín sulfato. Esta matriz es capaz de enviar señales al interior de las células y lo hace a través de proteínas presentes en la superficie de las células que funcionan como "receptores". Por tanto, el comportamiento de una célula cuando se encuentra en suspensión, en un medio de cultivo artificial, es diferente de aquél que presenta cuando interacciona con alguna o varias de estas

Dadas las condiciones de pobreza, subdesarrollo y bajos niveles de sanidad que prevalecen en gran parte del país, las parasitosis abundan en México. La amibiasis, ampliamente conocida por la mayoría de la población, es ocasionada por el parásito *Entamoeba histolytica*.



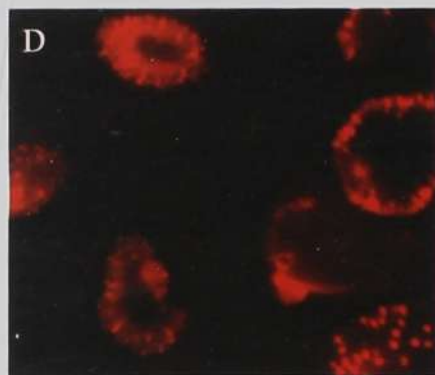
"Caps" o casquetes



Bocas fagocíticas



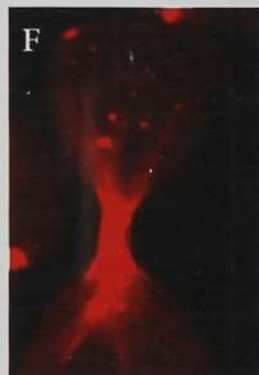
Bocas fagocíticas



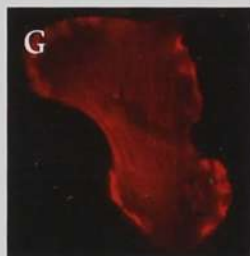
Placas de adhesión



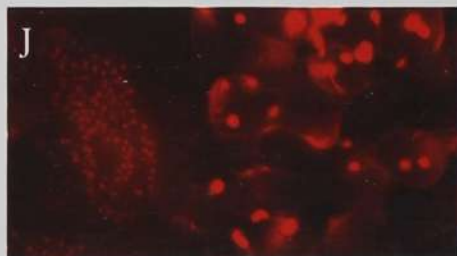
Anillo contráctil



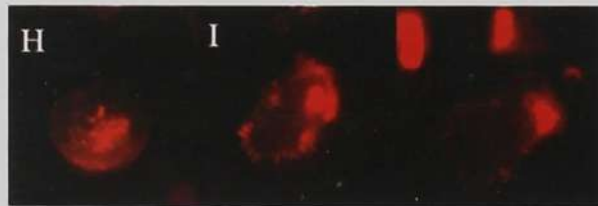
Anillo contráctil



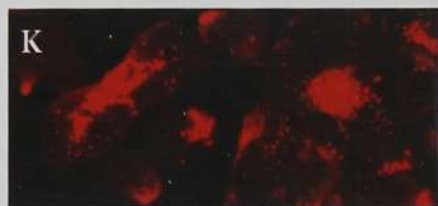
Fibras de estrés



Puntos de actina (diversos tamaños)



Lamelopodio y filopodios



Puntos de actina asociados a fibras de estrés

Figura 3. Estructuración del citoesqueleto de actina en los trofozoítos de *Entamoeba histolytica*. Los trofozoítos provenientes de cultivos axénicos se incubaron en portaobjetos previamente recubiertos con fibronectina. Al término de la incubación éstos se fijaron con p-formaldehído al 4%, se permeabilizaron con detergente y se tiñeron con faloidina rodamina, reactivo fluorescente que se une en forma específica a la actina polimerizada y que da el color rojo a las estructuras.

Hasta fecha muy reciente, el citoesqueleto de actina de *E. histolytica* había sido considerado como un citoesqueleto relativamente simple. Sin embargo, utilizando el modelo de estudio en el cual se permite la interacción de los trofozoítos con la fibronectina, ha sido posible describir la capacidad de reorganización que tiene el citoesqueleto de actina para dar lugar a la formación de diferentes estructuras, como las que pueden formarse en los trofozoítos amibianos.

proteínas. Hasta fecha muy reciente, el citoesqueleto de actina de *E. histolytica* había sido considerado como un citoesqueleto relativamente simple. Sin embargo, utilizando el modelo de estudio en el cual se permite la interacción de los trofozoítos con la FN, ha sido posible describir la reorganización del citoesqueleto de actina para dar lugar a la formación de diferentes estructuras [10]. Lo anterior ha sido posible gracias a la microscopía de fluorescencia y el uso de un compuesto químico conocido como *faloidina*, toxina extraída de un hongo que se une en forma específica a la actina polimerizada; esta toxina a su vez está marcada con un compuesto denominado *rodamina* que fluoresce al ser expuesto a la luz ultravioleta. Asimismo, utilizando diferentes drogas que afectan el citoesqueleto ha sido posible estudiar los procesos de polimerización/despolimerización de actina y su participación en diversas funciones celulares [11].

Hasta hace algunos años se creía que la actina en los trofozoítos de *E. histolytica* sólo formaba acúmulos en un extremo de la célula (pseudópodos, figura 3A). Posteriormente se identificaron dos estructuras de actina perfectamente distinguibles: las bocas o invaginaciones fagocíticas (figura 3B, C) y las placas de adhesión (figura 3D), estas últimas formadas como resultado de la interacción de los trofozoítos con FN. Bajo ciertas condiciones, varios autores reportaron la presencia de actina polimerizada en el anillo contráctil que se forma en el plano ecuatorial de una célula en división (figura 3E, F), pero sin hacer referencia a la formación de fibras de estrés típicas. Las fibras de estrés

de actina (figura 3G) consisten en haces largos de filamentos de actina que atraviesan la célula y que se unen a los componentes de la matriz extracelular a través de las integrinas y los complejos focales de adhesión. Los filamentos de actina también pueden formar una red muy compacta, localizable en el borde de una célula móvil, en estructuras conocidas como lamelopodios y *ruffles* o membranas ondulantes (figura 3H). Las microespiículas y los *filopodios* (figura 3I) son estructuras formadas por haces cortos de filamentos de actina, que sobresalen de la superficie celular. Todas estas estructuras pueden formarse en los trofozoítos amibianos y probablemente lo hacen a partir de filamentos preexistentes y/o a través de procesos de polimerización a partir de actina soluble o actina G. Estructuras adicionales presentes frecuentemente en la amiba, y cuya función no ha sido establecida, pero que probablemente estén relacionadas con el proceso de polimerización, son los puntos de actina, los cuales se pueden encontrar en diferentes tamaños, en forma individual o bien asociados a fibras de estrés (figura 3J, K). Parecerían ser el origen y/o los bloques a partir de los cuales pudieran formarse arreglos más complejos de actina polimerizada.

En resumen, el citoesqueleto de actina es un organelo vital para *Entamoeba histolytica*. Su estudio continúa siendo muy relevante en la actualidad, con el fin de entender la biología de este parásito y así diseñar mecanismos que puedan prevenir el desarrollo de la enfermedad. ●

[Referencias]

- [1] World Health Organization (1969). *Amoebiasis. Geneva report of a WHO Expert Committee*. WHO Tech. Rep. Ser., núm. 421.
- [2] Ravdin, J. I. (1995). Amebiasis. *Clin. Infect. Dis.* 20(6): 1453-1464.
- [3] Walsh, J. A. (1986). Amebiasis in the world. *Arch. Invest. Méd. (Méx.)* 17(S1): 385-389.
- [4] Pérez Tamayo, R. (2006). Amebiasis. En A. Flisser y R. Pérez Tamayo (eds.), *Aprendizaje de la Parasitología basado en problemas*, Editores de Textos Mexicanos, cap. 36, pp. 322-335, México.
- [5] Diamond, L. S., Harlow, D. R. y Cunnick, C. C. (1978). A new medium for the axenic cultivation of *Entamoeba histolytica* and other *Entamoeba*. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.* 72: 431-432.
- [6] Laughlin, R. C. y Temesvári, L. A. (2005). Cellular and molecular mechanisms that underlie *Entamoeba histolytica* pathogenesis: prospects for intervention. *Expert. Rev. Mol. Med.* 7(13): 1-19.

- [7] Alberts, B., Jonson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K. y Walter, P. (eds.), (2002). Cytoskeleton. en *Molecular Biology of the Cell*, Garland Science, miembro del Taylor & Francis Group, 4a edición, pp. 907-982.
- [8] Meza, I., Talamás-Rohana, P. y Vargas, M. A. (2006). The cytoskeleton of *Entamoeba histolytica*: structure, function, and regulation by signaling pathways. *Arch. Med. Res.* 37: 234-243.
- [9] Talamás-Rohana, P. y Meza, I. (1998). Interaction between pathogenic amebas and fibronectin: Substrate degradation and changes in cytoskeleton organization. *J. Cell Biol.* 106: 1787-1794.
- [10] Talamás-Rohana, P. y Rios, A. (2000). Actin stress fibers in *Entamoeba histolytica* induced by fibronectin. *Arch. Med. Res.* 31: S131-S133.
- [11] Spector, I., Breat, F., Shochet, N. R. y Bubb, M. R. (1999). New anti-actin drugs in the study of the organization and function of the actin cytoskeleton. *Microsc. Res. Rev.* 47: 18-37.

Gasificación del carbón mineral: fuente de energía limpia y de productos de alto valor agregado

EL CARBÓN ES UN COMBUSTIBLE FÓSIL, CUYA EXPLOTACIÓN CON TECNOLOGÍA CONVENCIONAL HA PROVOCADO CUANTIOSOS PROBLEMAS AMBIENTALES. PERO SI EL CARBÓN SE SOMETE AL PROCESO DE GASIFICACIÓN, PUEDE UTILIZARSE DE MANERA EFICIENTE Y LIMPIA EN SISTEMAS DE COGENERACIÓN DE ENERGÍA Y PRODUCTOS QUÍMICOS DE ALTO VALOR AGREGADO.

María Esther Sánchez Castro
Salvador Carlos Hernández
Arturo I. Martínez Enríquez

El carbón es un combustible fósil, al igual que el gas natural y el petróleo. Está constituido por rocas carbonosas, su valor calorífico es mayor cuanto más carbono e hidrógeno posee (ver figura 1); es muy abundante y promete ser uno de los combustibles más importantes de este siglo, ya que muchas de las demandas energéticas que requiere nuestra sociedad se pueden satisfacer con el uso apropiado de este recurso. Sin embargo, su explotación con tecnología convencional ha provocado cuantiosos problemas ambientales; en la actualidad, se utiliza casi exclusivamente para obtener energía eléctrica mediante combustión directa. Este proceso genera abundantes emisiones de gases de efecto invernadero y otros compuestos tóxicos.

Una alternativa a la combustión del carbón mineral es el proceso de gasificación, por medio del cual se produce un gas, constituido principalmente por hidrógeno y monóxido de carbono, que se conoce como *gas de síntesis (gas-sin)* o *syngas*. El *gas-sin* puede utilizarse en sistemas de cogeneración de energía eléctrica tales como en celdas de combustible y plantas de ciclo combinado. Además, con el proceso de gasificación es posible separar diferentes componentes que son materia prima para la síntesis de productos químicos de alto valor agregado.

México es un productor de carbón mineral y ocupa el segundo lugar en América Latina en extracción; sin embargo, su uso es exclusivamente como combustible

MARÍA ESTHER SÁNCHEZ CASTRO Obtuvo el Doctorado en Ciencias Químicas (Cinvestav, 2005). Investigadora en la Unidad Saltillo de Cinvestav en el área de Recursos Minerales y Energéticos. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Ha trabajado en el diseño y síntesis de compuestos organometálicos con potencial actividad catalítica y en el proceso de gasificación de carbón mineral como fuente de energía. esther.sanchez@cinvestav.mx

SALVADOR CARLOS HERNÁNDEZ Doctorado en Ciencias (2005), Instituto Nacional Politécnico de Grenoble (Francia). Investigador en la Unidad Saltillo de Cinvestav en el área de Recursos Minerales y Energéticos. Áreas de especialización: teoría de control, control de plantas anaeróbicas de

tratamiento de aguas residuales, bioenergía, sistemas y procesos no convencionales de generación de energía. salvador.carlos@cinvestav.edu.mx

ARTURO I. MARTÍNEZ ENRÍQUEZ Estudio fisicoquímica en la Universidad Nacional Autónoma de México, ha trabajado en la modelación computacional de sistemas microporosos, películas delgadas, y la aplicación de óxidos metálicos en la construcción de ventanas inteligentes y fotoquímica. Actualmente es investigador en la Unidad Saltillo de Cinvestav en el área de Recursos Minerales y Energéticos. art.mtz@gmail.com



Figura 1. Carbón mineral en un almacén a cielo abierto en la zona industrial de Ramos Arizpe Coahuila. Foto: S. Carlos.

en las termoeléctricas y como materia prima en la industria siderúrgica (ver figura 2). Además de las demandas eléctrica e industrial, es importante empezar a abrir otros horizontes con perspectivas a largo plazo y mucho más ambiciosas. En este contexto, es necesario analizar los potenciales del carbón en industrias que permitan incrementar su valor utilizando procesos no convencionales. Por ejemplo, la gasificación, pirólisis y licuefacción del carbón son procesos con un gran potencial energético y ofrecen la posibilidad de generar una serie de derivados tales como productos químicos, fertilizantes y combustibles limpios. Sin embargo, ésta es una industria poco atendida en nuestro país.



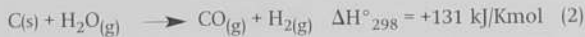
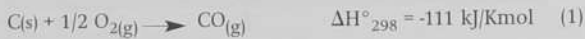
Figura 2. Red eléctrica de alta tensión en la zona industrial de Ramos Arizpe Coahuila. Como es de esperarse, la electricidad proviene de una carboléctrica. Al fondo se observa la generación de gases de efecto invernadero. Foto: S. Carlos.

El proceso de gasificación

La gasificación consiste en transformar mediante reacciones termoquímicas un combustible sólido en un gas de alto valor energético, partiendo de un agente gasificador, normalmente oxígeno, aire o vapor de agua. Los combustibles sólidos pueden ser biomasa, coque o

carbón mineral. En este artículo concentraremos nuestra atención en la gasificación del carbón mineral; el proceso consiste en alimentar con carbón un recipiente a presión y temperatura altas, donde se llevan a cabo las reacciones bajo condiciones controladas. De esta manera, el combustible se convierte principalmente en *gas-sin*, mezclado con nitrógeno (N₂), dióxido de carbono (CO₂), sulfuros y agua (H₂O), entre otros; los residuos tales como cenizas vitrificadas, pueden emplearse en la industria de la construcción.

La gasificación utiliza normalmente vapor de agua y oxígeno; la relación de ambos agentes gasificantes, junto con la temperatura de reacción y la presión, determinan la composición de equilibrio del gas. Para que el proceso de gasificación se lleve a cabo se requiere de temperaturas altas, 800 a 1800 °C, dependiendo de las características de la materia prima. Es importante controlar la temperatura para que se efectúen las diferentes reacciones químicas que tienen lugar en el proceso, las cuales incluyen al carbón, monóxido de carbono (CO), CO₂, hidrógeno (H₂), H₂O (vapor) y metano (CH₄) (Christopher, *et al.*, 2003):



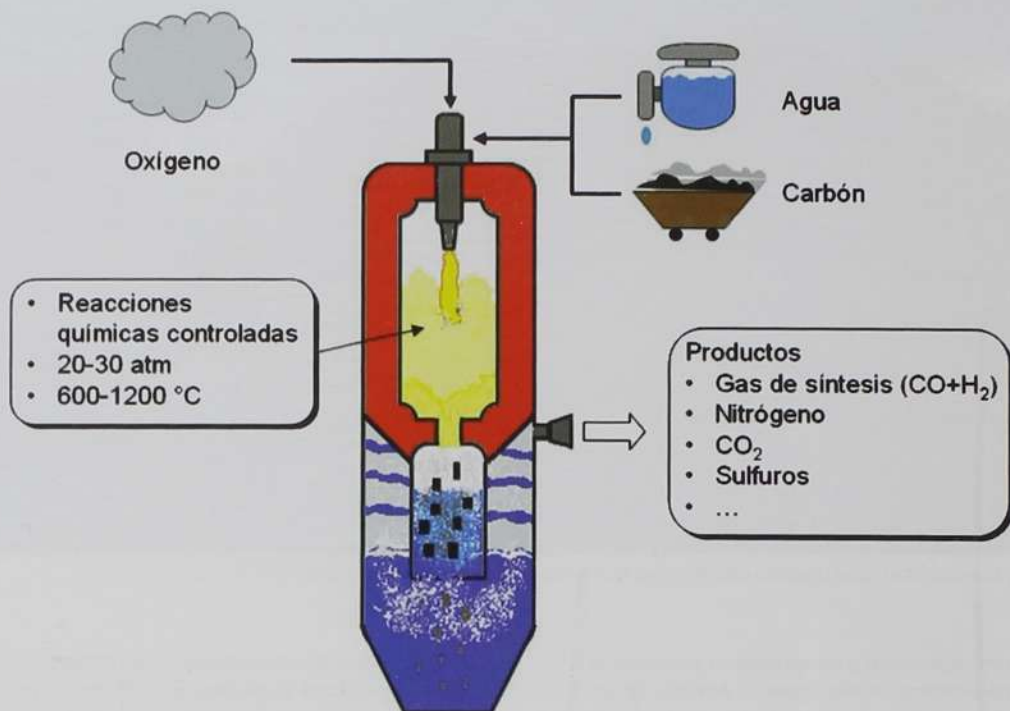


Figura 3. Esquema general del proceso de gasificación de carbón mineral.

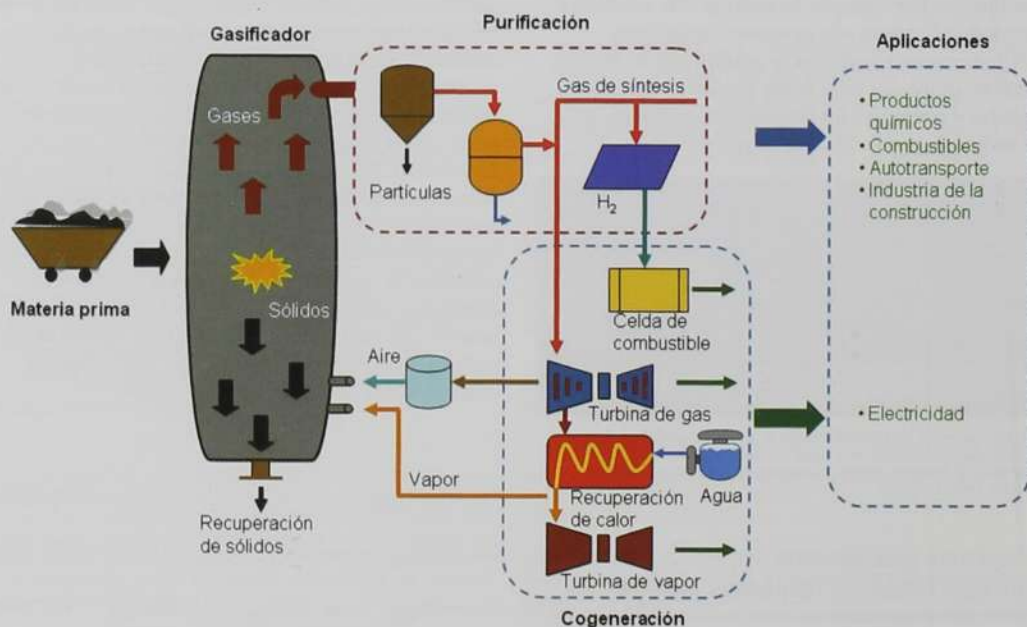


Figura 4. Sistema de aprovechamiento del carbón por medio del proceso de gasificación.

La gasificación difiere de la combustión convencional en el hecho de que, en la primera los subproductos formados que pueden contaminar se separan antes de la combustión. Debido a que el proceso se lleva a cabo en condiciones reductoras, el azufre contenido en el carbón se convierte en sulfuro de hidrógeno; éste es más fácil de eliminar que el dióxido de azufre obtenido en los procesos de combustión y se puede transformar en productos valiosos como el azufre o ácido sulfúrico. Los óxidos de nitrógeno y otros contaminantes potenciales no se forman con la cantidad de oxígeno presente; en su lugar se produce amoníaco por medio de las reacciones entre los subproductos de nitrógeno e hidrógeno. En la figura 3 se muestra un esquema simplificado del proceso de gasificación (Millar, 2005).

Aprovechamiento integral del carbón

Como se ha visto, el proceso de gasificación ofrece una vía más limpia y versátil, en la que se aprovechan de manera integral y eficiente, las reservas de carbón y simultáneamente se reduce el impacto ambiental. En la figura 4 se muestra un sistema de aprovechamiento del carbón basado en el proceso de gasificación, en el cual se pueden identificar cinco bloques: la materia prima, el gasificador, la etapa de purificación, la de cogeneración de electricidad y las aplicaciones finales. Es importante mencionar que este esquema es válido también para otro tipo de combustibles sólidos.

La materia prima

La composición petrográfica del carbón mineral es muy compleja; algunas propiedades como la edad, el contenido de agua y de cenizas son de gran influencia en el proceso de gasificación. Sin embargo, todos los tipos de carbón se pueden gasificar; en términos económicos se prefieren aquéllos que generan bajos niveles de cenizas. Dependiendo de la tecnología disponible, se define el tipo de carbón que se utilizará (Christopher *et al.*, 2003). La tabla I presenta las características de algunas clases de carbón mineral.

Clase	Volátiles (% en peso)	Carbón fijo (% en peso)	Valor calorífico MJ/Kg
Antracita	< 8	> 92	36-37
Bituminoso	8-22	78-92	32-36
Sub-bituminoso	22-27	73-78	28-32
Lignito	27-35	55-73	26-28

Tabla I. Clasificación del carbón mineral (Christopher, *et al.*, 2003).

Los reactores de gasificación

A diferencia de los combustores, los gasificadores controlan la cantidad de aire u oxígeno disponible, de modo que sólo una pequeña porción del combustible se queme por completo, elevando así la temperatura del reactor. Además, se llevan a cabo múltiples reacciones químicas, las cuales originan la transformación del carbón mineral y posteriormente su gasificación. Los minerales en el combustible (rocas y otras impurezas que no se gasifican) se separan y se van al fondo del gasificador, ya sea como escoria inerte o como subproductos sólidos. Los gasificadores se pueden agrupar en tres categorías, según su configuración: de flujo de arrastre, de lecho fijo y de lecho fluidizado.

a) *Gasificadores de flujo de arrastre.* Son apropiados para combustibles secos pulverizados o líquidos atomizados. La reacción de gasificación se lleva a cabo en una nube densa de partículas muy finas a temperaturas superiores a los 1 400 °C y presiones entre 20 y 30 atm, por lo que el tiempo de residencia del combustible en el gasificador es del orden de segundos. El empleo de altas temperaturas y presiones implica que se pueden alcanzar más altos rendimientos; sin embargo, la eficiencia térmica es baja, ya que el gas se debe enfriar antes de que se pueda purificar y utilizarse con las tecnologías existentes. Las altas temperaturas implican que el producto contenga menos impureza; sin embargo, el requerimiento de oxígeno es más alto que para los otros tipos de gasificadores, elevando los costos de operación (Chen *et al.*, 2000).

b) *Gasificadores de lecho fijo.* Es la tecnología más antigua y en la que se tiene más experiencia. En este tipo de gasificadores los gases pasan relativamente lento ascendiendo a través de la cama de alimentación de



Figura 5. Carbón convicto.

La gasificación consiste en transformar, mediante reacciones termoquímicas, un combustible sólido (biomasa, coque o carbón mineral) en un gas de alto valor energético, partiendo de un agente gasificador, normalmente oxígeno, aire o vapor de agua. Al término del proceso, el combustible se convierte principalmente en gas sin (nitrógeno, dióxido de carbono y agua) y sus residuos, en cenizas vitrificadas, que pueden emplearse en la industria de la construcción.



Figura 6. El atardecer observado en la zona semidesértica de Ramos Arizpe Coahuila, ubicación geográfica con alta insolación. Foto: E. Sánchez.

carbón (lecho fijo). Se pueden utilizar los métodos de contracorriente y cocorriente aunque éste último es el más común; en el primero, el agente gasificador se introduce desde el fondo y fluye en contracorriente con el flujo del combustible. En cocorriente las materias primas se alimentan en la misma dirección. Existen otros métodos menos utilizados como el de corriente cruzada, núcleo abierto y de disparo a la par; cada una tiene ventajas y desventajas. La temperatura al interior del gasificador no es homogénea; en la configuración cocorriente, la parte superior del lecho se encuentra a 450 °C, mientras que en el fondo del gasificador puede alcanzarse hasta 2 000 °C. El tiempo de residencia del carbón en este tipo de gasificador oscila entre 30 y 60 minutos; este proceso opera con trozos de carbón, ya que una cantidad excesiva de partículas finas puede bloquear el flujo del *gas-sin* (Hobbs *et al.*, 1993).

c) *Gasificadores de lecho fluidizado*. La fluidización es un proceso de contacto que ocurre entre un sólido y un fluido (gas o líquido), en el cual el lecho formado por partículas sólidas, finamente divididas, se levanta y se agita por medio de una corriente ascendente de fluido. Este tipo de gasificadores son reactores de corriente vertical; para permitir la fluidización, la altura es mucho mayor que su diámetro. Favorecen una mezcla uniforme, una cinética optimizada, un mejor contacto partícula/gas y una transferencia de calor eficiente, así como un periodo de residencia largo. Estos factores contribuyen a la obtención de una razón de conversión alta. El rendimiento en este tipo de procesos es intermedio entre el de lecho fijo y el de flujo de arrastre. La temperatura de operación es entre 950 y 1 100 °C.

Para la producción de gas de síntesis, los tres tipos de reactores son de interés. Por ejemplo, para carbones de alta calidad, los de flujo de arrastre son los más

apropiados y son los preferidos para la construcción de plantas de gasificación integrada al ciclo combinado. La versión que emplea oxígeno en lugar de aire permite tratar carbones de reactividad baja; en cambio, la que utiliza aire es útil para carbones de reactividad alta. Dentro de los gasificadores de arrastre se tienen los fabricados por: Texaco, Hitache, Shell, Prenflo, Dow/Destec. Normalmente, los gasificadores de lecho fijo se utilizan para carbones de baja calidad (Minchener, 2005).

Etapas de purificación y procesos de cogeneración

Para la purificación del *gas-sin* se emplean ciclones, los cuales eliminan mediante procesos físico-químicos las partículas presentes en el gas; además, se utilizan, cámaras de separación que tienen la función de recuperar el ácido sulfúrico y otros subproductos, y reactores de membrana utilizados para separar el hidrógeno.

Los sistemas de cogeneración son una parte esencial para el aprovechamiento del potencial energético del carbón mineral. Dos de las alternativas más prometedoras son las plantas de ciclo combinado y las celdas de combustible.

a) Plantas de ciclo combinado

El gas obtenido en el proceso de gasificación se puede aprovechar en diferentes ciclos termodinámicos para la generación de energía eléctrica, en lo que se conoce como gasificación integrada al ciclo combinado (GICC). Los sistemas GICC representan una alternativa para el uso más eficiente y limpio del carbón, ya que emiten cantidades menores de gases de efecto invernadero (CO₂, SO_x y NO_x). Pueden configurarse para facilitar captura de CO₂; permiten la recuperación de

Según su configuración, los reactores de gasificación se agrupan en tres categorías: de flujo de arrastre, de lecho fijo y de lecho fluidizado; para la producción de energía, los tres tipos son de interés. Actualmente hay 160 plantas de gasificación modernas en operación alrededor del mundo, básicamente en Europa y Estados Unidos, y 35 más en etapa de planeación.

subproductos para fabricar derivados de alto valor agregado; consumen menos combustible por KWh que los generadores convencionales y manipulan grandes volúmenes de carga.

El *gas-sin* se utiliza para alimentar una turbina de gas que acoplada a un generador produce electricidad; el calor desechado por la turbina es empleado para producir vapor y a su vez electricidad adicional por medio de una turbina de vapor; este último paso aumenta la eficiencia de la generación. Actualmente existen muchas plantas en construcción alrededor del mundo. Para que este tipo de plantas puedan sustituir completamente a las carboeléctricas convencionales, se deben enfrentar distintos retos; tales como el capital de inversión y la viabilidad técnica económica (Maurstad, 2005).

b) Celdas de combustible

Son dispositivos electroquímicos que transforman la energía de una reacción química en electricidad. A diferencia de las baterías normales, estas celdas funcionan mientras se les suministre combustible y oxígeno. Por lo tanto, no se agotan y no es necesario recargarlas. Para alimentar las celdas puede emplearse hidrógeno puro o cualquier otro combustible de forma directa (gasolina, metanol, etanol, gas natural, gas licuado, etcétera). Con el desarrollo de nuevos materiales es posible alcanzar altas eficiencias energéticas; otra ventaja importante es el impacto ambiental bajo, ya que mientras se utilice hidrógeno, estos dispositivos generan como residuo únicamente vapor de agua, evitando así la generación de contaminantes. De esta manera, el *gas-sin* producido en el proceso de gasificación se puede utilizar en celdas de combustible para la generación de electricidad. La principal desventaja de éstas es su elevado costo y que aun se encuentran en fase de investigación y desarrollo (Carrette, L. et al., 2000).

Desarrollo de sistemas híbridos: gasificación mediante energía solar

Como se mencionó anteriormente, el proceso de gasificación requiere de una fuente calorífica para alcanzar las temperaturas necesarias. Convencionalmente, esas temperaturas se obtienen quemando parte del carbón a gasificar, método que provoca la generación de CO₂ y pérdidas por transferencia de calor. Una alternativa interesante que

proporciona tales condiciones es el aprovechamiento de la energía solar, en particular la parte térmica de su espectro (Zedtwitz et al., 2006). Para su aprovechamiento en la gasificación se deben utilizar sistemas de concentración solar. La energía solar presenta desventajas, entre otras, la baja intensidad (sólo $\sim 1 \text{ kW/m}^2$), es intermitente (disponible durante el día), se encuentra distribuida de forma no uniforme sobre la superficie terrestre (mayormente en latitudes entre 30° norte y 30° sur), y el alto costo de los concentradores solares. A pesar de sus inconveniencias es la alternativa más viable, puesto que las reservas son ilimitadas, es accesible (no pertenece a nadie, ¡hasta el momento!) y no genera contaminación ambiental. En el caso de México, existen excelentes oportunidades para su aprovechamiento porque la mayor parte del territorio nacional se encuentra entre los 14 y 32° norte (ver figura 5). Según cálculos actuales, con sólo utilizar 0.1% de la superficie terrestre con concentradores solares que operan con una eficiencia de 20%, se pueden satisfacer las necesidades energéticas de toda la población mundial, manteniendo el ritmo de consumo actual.

Otro de los problemas de la energía solar es su almacenamiento y traslado a regiones de baja insolación. Precisamente, esto se resuelve con la gasificación de carbón mineral, ya que las reacciones de gasificación son procesos endotérmicos (ver reacciones 2 y 3). El valor calorífico del carbón se incrementa debido a que se agrega la energía solar en una cantidad igual al cambio de entalpía de la reacción; esto significa que se almacena la energía solar en energía química, la cual es fácil de transportar y almacenar.

Aplicaciones finales

a) La producción de combustibles es el resultado más importante de la gasificación de carbón mineral, entre los que podemos mencionar al hidrógeno, diesel, metano, petróleo sintético entre otros. Tales combustibles pueden aprovecharse en el autotransporte, la industria manufacturera, el hogar y en la generación de energía eléctrica. En este último caso se requiere un sistema de cogeneración; como se ha mencionado previamente, el ciclo combinado y las celdas de combustible son las alternativas más viables y con mayor eficiencia energética.

La gasificación de carbón por métodos híbridos permite el aprovechamiento de la energía solar. Se estima que, utilizando sólo 0.1% de la superficie terrestre con concentradores solares que operan con una eficiencia de 20%, se pueden satisfacer las necesidades energéticas de toda la población mundial manteniendo el ritmo de consumo actual. El problema que representa almacenamiento y traslado de la energía solar se puede resolver con la gasificación, ya que permite almacenar la energía solar en energía química, fácil de acumular y transportar.

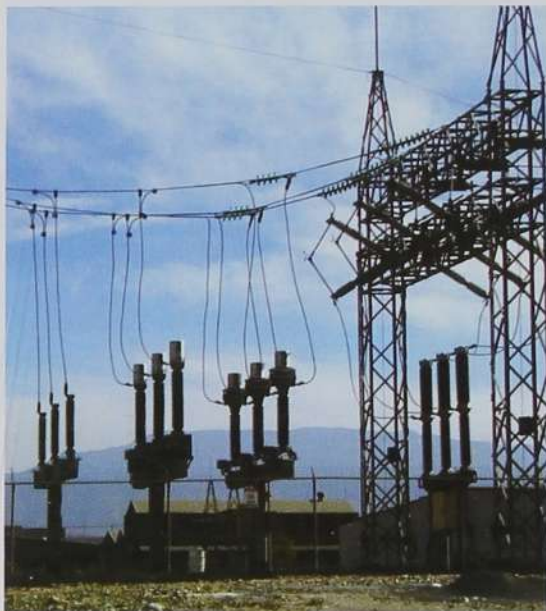


Figura 7. Subestación. Foto: E. Sánchez.

El empleo de tecnología adecuada eleva la eficiencia; por ejemplo, un sistema completo de aprovechamiento del potencial del carbón puede alcanzar eficiencias de alrededor de 80% (Stiegel y Ramezan, 2006); disminuyendo los daños al medio ambiente. Actualmente hay 160 plantas de gasificación modernas en operación alrededor del mundo y 35 más en etapa de planeación; la mayoría de éstas están localizadas en Europa y en Estados Unidos. Estas plantas incluyen alrededor de 410 gasificadores, con una producción combinada de gas de síntesis de 60 mil MWh, lo cual permite generar en ciclo combinado alrededor de 33 mil MW. A finales del año 2000 existían en el mundo 89 proyectos de elaboración de productos químicos a partir del carbón, que produjeron alrededor de 18 mil MWh. La ventaja de este tipo de proyectos son las sinergias que se generan, pudiéndose producir simultáneamente electricidad, vapor, hidrógeno y productos químicos.

b) Algunos de los elementos obtenidos en el proceso pueden utilizarse como *materia prima* para la síntesis de *productos químicos* con alto valor agregado. Tal es el caso del ácido sulfúrico, el sulfuro de hidrógeno, el sulfato de amonio, azufre, benceno y alquitrán. Existen

varias compañías que desarrollan tecnología para la producción de productos químicos; por ejemplo, Eastman (Estados Unidos) ha empleado tecnologías adquiridas como el método de gasificación de Texaco; esta compañía genera cerca de 5 billones de dólares al año, emplea aproximadamente 15 mil personas, y produce alrededor de 400 diferentes productos químicos, fibras y plásticos.

c) La *industria de la construcción* también es beneficiada con el proceso de gasificación de carbón, ya que las cenizas vitrificadas generadas pueden utilizarse como aditivo para la producción de cemento, en la construcción de diques, de bases de carreteras, en la fabricación de productos cerámicos, entre otros. Firmas como ELCOGAS de España han explotado este campo de aplicación.

d) La fabricación de *fertilizantes* es una aplicación importante del amoníaco que se obtiene de la gasificación de carbón; compañías como Agrium de Canadá, Sasol de Sudáfrica, entre otras, han explorado exitosamente esta área. De la misma manera, existen proyectos como el Blue Sky en Alaska, o las investigaciones del Instituto de Investigación en Potencia Eléctrica de California, que buscan aumentar la eficiencia y aplicar tecnología para la fabricación de este tipo de productos a partir de la gasificación del carbón.

Investigación y desarrollo para la gasificación de carbón

En México

Nuestro país cuenta con reservas importantes de carbón mineral. Según datos del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, en 2005 la producción de carbón mineral reportó un crecimiento de alrededor de 20%. Es decir, se obtuvieron más de 600 mil toneladas, con lo que ésta se convierte en una de las actividades más dinámicas del sector minero. El estado de Coahuila ocupa el primer lugar en la extracción de este mineral en nuestro país. Actualmente, la Comisión Federal de Electricidad reporta 2 600 MW instalados en dos plantas carboeléctricas y 5 000 MW en plantas de ciclo combinado; sin embargo, no se especifica la utilización de tecnología GICC. El carbón mineral mexicano presenta alto contenido de azufre, por lo que su explotación con tecnología convencional representa una fuente de contaminación masiva. Una solución a esta problemática es el empleo de procesos de gasificación que permiten separar y recuperar los compuestos azufrados.

En el ámbito mundial

El sector energético se encuentra en plena transformación en todo el mundo; se pretende explotar fuentes energéticas alternativas, económicamente viables y limpias. Por esta razón, se debe incluir la evaluación del impacto ambiental en el desarrollo de tecnologías que permitan aprovechar el potencial de los recursos energéticos. En la actualidad, el carbón mineral se presenta como una de las grandes alternativas energéticas; aunque se trata de un recurso natural no renovable, las reservas mundiales aún son muy importantes y, como se mencionó anteriormente, tiene un gran potencial para la generación de electricidad. Además, es posible fabricar productos químicos de alto valor agregado si se utiliza la tecnología y procesos adecuados. En este sentido, es de vital importancia la investigación y el desarrollo de tecnología para utilizar el carbón de una manera integral. La tecnología del proceso de gasificación y de las plantas de ciclo combinado está en pleno crecimiento; aunque existen ya plantas comerciales, todavía se tienen muchos problemas por resolver. La obtención de altos rendimientos y la reducción de costos son las principales preocupaciones de la comunidad científica e industrial. Actualmente, en todo el mundo existen varios proyectos de investigación y desarrollo para la generación de electricidad a partir de procesos de gasificación de carbón, principalmente por métodos híbridos, tales como el aprovechamiento de la energía solar.

Comentarios finales

La gasificación está íntimamente relacionada con el futuro de la energía. Desde hace tiempo, el hidrógeno se ha postulado como uno de los combustibles más propicios por su bajo impacto ambiental dado que el único residuo que genera es agua. No hay duda de que el uso de este gas conjuntamente con celdas de combustible mejorará el ambiente de manera perceptible. Sigue existiendo el problema de cómo obtenerlo eficientemente y almacenarlo. Hay esencialmente tres rutas para la producción de hidrógeno: la electrólisis de agua, la reformación de vapor de gas natural y la gasificación. La obtención de hidrógeno se asocia inevitablemente con la producción de CO_2 , a menos que la energía para la electrólisis se genere sin emisiones de éste.

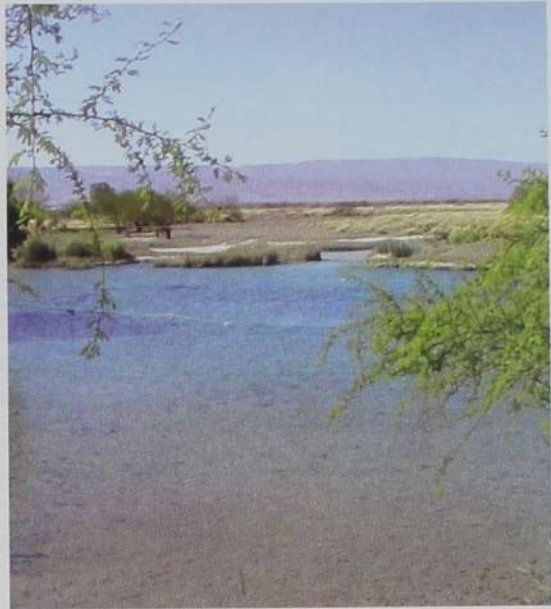


Figura 8. Subestación. Foto: E. Sánchez.

En el camino hacia la denominada “economía del hidrógeno” se puede esperar que éste se obtenga directamente de los combustibles fósiles antes que por electrólisis. Ésta es la única manera por la cual una inversión en la generación de electricidad se puede utilizar para la producción del hidrógeno a un costo moderado (Damen *et al.*, 2002). En un largo plazo, la biomasa y los desechos pueden convertirse en los materiales de base más importante asumiendo el papel de los combustibles fósiles de hoy.

México se encuentra frente a un reto muy importante en lo referente a la economía del hidrógeno y a la gasificación del carbón. Las reservas de este mineral en el país son de talla considerable, por lo que las plantas carboeléctricas existentes se pueden transformar paulatinamente a la tecnología GICC. Este es, por lo tanto, un tema de investigación estratégico para el desarrollo del sector energético nacional. Para conseguir avances significativos en este sentido, es imperativo que los sectores involucrados colaboren y generen proyectos que den como resultado tecnología propia. ●

[Referencias]

[1] Carrette L., Friedrich K.A., Stimming U. (2000). Fuel Cells: Principles, Types, Fuels, and Applications. *Chem. Phys. Chem.* 1:162-193.
[2] Chen C., Horio M., Kojima T. (2000). Numerical simulation of entrained flow coal gasifiers: Part I and II. *Chem. Eng. Sci.* 55:3861-3874.
[3] Christopher H., van der Burgt M. (2000). *Gasification*. Elsevier, EUA.
[4] Damen K., van Troost M., Faaij A., Turkenburg W. (2006). A comparison of electricity and hydrogen production systems with CO_2 capture and storage. Part A: Review and selection of promising conversion and Hobbs M.L., Radulovic P.T., Smoot L.D. (1993). Combustion and gasification of coals in fixed-beds. *Progress Energy Combustion Sci.* 19:505-586.
[5] Maurstad O. (2005). An Overview of Coal based Integrated Gasification Combined

Cycle (IGCC) Technology”. Massachusetts Institute of Technology. Laboratory for Energy and the Environment.
[6] Miller B.G. (2005). *Coal Energy Systems*. Elsevier, EUA.
[7] Minchener A. J. (2005). Coal gasification for advanced power generation. *Fuel* 84:2222-2235.
[8] Stiegel G.J., Ramezan M. (2006). Hydrogen from coal gasification: An economical pathway to a sustainable energy future. *International J. Coal Geology*, 65:173-190.
[9] Zedtwitz P.V., Petrasch J., Trommer D., Steinfeld A. (2006). Hydrogen production via the solar thermal capture technologies. *Progress Energy Combustion Sci.* 32: 215-246.
[10] Decarbonization of fossil fuels. *Solar Energy*, 80:1333-1337.

Ingeniería y física biomédicas en el Cinvestav-Monterrey

EN MONTERREY, CIUDAD DE VIGOROSO CRECIMIENTO ECONÓMICO, CULTURAL Y ACADÉMICO, SE CONJUGARON LAS CONDICIONES NECESARIAS PARA LA CREACIÓN DE UN NUEVO POSGRADO EN EL CINVESTAV. BASADO EN EL CONCEPTO DE LA MULTIDISCIPLINA, ESTE POSGRADO COMBINA LA INGENIERÍA Y LA FÍSICA BIOMÉDICAS, UN REFLEJO FIEL DE LAS TEMÁTICAS Y LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN QUE ACTUALMENTE SE CULTIVAN EN ESTA INSTITUCIÓN.

Rosa Elena Sanmiguel Domínguez

Hilda Josefina Mercado Uribe

Jesús Santana Solano

David Gutiérrez Ruiz

Moisés Santillán Zerón

M. Ángeles Paz Sandoval

Posgrado en Ingeniería y Física Biomédicas

La investigación multidisciplinaria es esencial en el desarrollo científico; no sólo permite optimizar los recursos humanos y materiales, sino que además facilita una sinergia positiva entre investigadores de diversas áreas, que a su vez redundan en una preparación más rica de sus estudiantes. Teniendo esto en consideración, el Cinvestav estableció un posgrado multidisciplinario en el área de Ingeniería y Física Biomédicas. El propósito principal de este posgrado es que sus graduados sean capaces de participar en instituciones hospitalarias, como responsables del área científica, así como de generar nuevos conocimientos a través de la investigación en las disciplinas arriba mencionadas.

Otro de los propósitos del nuevo programa es contribuir a la descentralización de recursos humanos en México. En particular, la ciudad de Monterrey, por su

acelerado crecimiento demográfico, económico, cultural y académico, así como por su gran influencia en el norte del país, resultó ser un lugar idóneo para el establecimiento de dicho programa de posgrado.

Al egresar, los estudiantes del programa de maestría en Ingeniería y Física Biomédicas, de la Unidad Monterrey del Cinvestav, deberán ser capaces de:

1. Incorporarse como responsables científicos en una unidad hospitalaria en las áreas de análisis y procesamiento de imágenes médicas, y diagnóstico y terapia mediante radiaciones; o bien
2. Continuar estudios de doctorado en algún área afín a la maestría, para lo cual habrán adquirido las siguientes habilidades:
 - a) Analizar en forma crítica la literatura científica del área de su especialidad.
 - b) Exponer claramente el estado actual del conocimiento en su área.



Cuarto de control del laboratorio de rayos X en la Unidad Monterrey. Se observa la consola de mando de la fuente y algunos componentes de electrónica involucrados en la operación de algunos detectores.

ROSA ELENA SANMIGUEL DOMÍNGUEZ Doctora en Ciencias por el Departamento de Física del **Cinvestav**. Realizó su trabajo de tesis como becaria del DAAD (Servicio Alemán de Intercambio Académico) en el Departamento de Física de la Universidad de Siegen (Alemania). Actualmente lleva a cabo una estancia posdoctoral en la Unidad Monterrey del **Cinvestav** teniendo a su cargo el Laboratorio de Imágenes de Rayos X de la Unidad Monterrey para la investigación de Técnicas Radiológicas. sanmiguel@cinvestav.mx

HILDA MERCADO URIBE Profesora investigadora del **Cinvestav**, Unidad Monterrey. Sus áreas de especialización son la física de las radiaciones y la dosimetría. Actualmente trabaja en fundamentos de la dosimetría y en aplicaciones de esta área a física médica y al fechamiento de cerámicas por termoluminiscencia. Colabora con grupos de arqueólogos, geofísicos y físicos de otras instituciones del país y del extranjero. hmercado@cinvestav.mx

JESÚS MANUEL SANTANA SOLANO Doctor en Ciencias por la Universidad Autónoma de San Luis Potosí en 2004. Realizó una estancia posdoctoral en el departamento de Ingeniería Química de la Escuela de Minas de Colado (EUA). Actualmente es investigador del **Cinvestav**, Unidad Monterrey. Perteneció al Sistema Nacional de Investigadores, nivel 1. Líneas de investigación: materia condensada blanda y microfluidez. jsantana@cinvestav.mx

DAVID GUTIÉRREZ RUIZ Ingeniero mecánico electricista egresado de la UNAM en 1997, maestro en Ingeniería Electrónica y doctor en Bioingeniería por la Universidad de Illinois en Chicago en 2000 y 2005, respectivamente. Realizó una estancia posdoctoral en el Instituto de

Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas de la UNAM de marzo de 2005 a mayo de 2006. En junio de 2006 se incorporó al **Cinvestav**, Unidad Monterrey. Su investigación es en el área de procesamiento estadístico de señales y sus aplicaciones a la biomedicina. También está interesado en el procesamiento de imágenes, neurociencias y algoritmos en tiempo real. davidgtz@cinvestav.mx

MOISÉS SANTILLÁN ZERÓN Doctor en Ciencias por el Instituto Politécnico Nacional. Realizó una estancia posdoctoral en el Centre for Nonlinear Dynamics de la Universidad McGill, en Montreal (Canadá), donde fungió como profesor invitado a partir de 2003. Es investigador nacional (nivel 2), así como miembro regular de la Academia Mexicana de Ciencias. Ha participado como revisor en más de diez revistas de investigación internacionales, y es miembro del comité editorial de la revista *Mathematical Modelling of Natural Phenomena*. A partir de agosto de 2006 se desempeña como investigador de la Unidad Monterrey del **Cinvestav**. Su línea de investigación es la modelación matemática de circuitos de regulación génicos. msantillan@cinvestav.mx URL: <http://homepage.mac.com/moisés.santillán>

M. ÁNGELES PAZ SANDOVAL Doctora por la Universidad de Londres (Inglaterra). Profesora titular del Departamento de Química del **Cinvestav**, Secretaria Académica de la Unidad Monterrey durante el proceso de su formación y hasta agosto de 2006. Perteneció al Sistema Nacional de Investigadores desde su fundación. Actualmente, sus líneas de investigación involucran el estudio de compuestos organometálicos y de coordinación, con énfasis en la comprensión de sus propiedades electrónicas y formas de enlace. mpaz@cinvestav.mx

c) Plantear, realizar y evaluar proyectos de investigación que aborden problemas innovadores en su área de conocimiento.

d) Exponer los resultados de sus investigaciones ante la comunidad científica nacional e internacional (artículos, congresos, etcétera).

e) Participar en grupos de investigación multidisciplinarios y/o interdisciplinarios.

El programa de maestría con especialidad en Ingeniería y Física Biomédicas consta de cuatro semestres. Se ofrecen catorce cursos en total, de los cuales el alumno cursará seis en los dos primeros semestres. Según el área en que el estudiante desee especializarse, el secretario académico, de acuerdo con el colegio de profesores, le asignará un tutor académico para que lo oriente en la selección de los cursos. El tercer y cuarto semestres estarán dedicados exclusivamente al trabajo de tesis, pero se espera que el alumno empiece a trabajar en ella desde el primer semestre, de manera moderada.

A continuación se presentan algunos de los temas de investigación que actualmente se cultivan en la unidad. En artículos posteriores se irá haciendo una revisión detallada de las líneas de investigación faltantes.

Procesamiento de señales para aplicaciones biomédicas

Esta línea de investigación está relacionada con el análisis de datos de origen biológico. Típicamente se obtienen datos de detectores que se encuentran distribuidos sobre un espacio de interés (sistema biológico), y que adquieren mediciones a través del tiempo. La tarea es, entonces, extraer información de estos datos espacio-temporales, tomando en cuenta que el tipo de información buscada depende de la naturaleza de la aplicación. La información se denomina señal, por lo que esta área de investigación es llamada procesamiento de señales. El procesamiento que se utiliza es estadístico (similar al empleado en aplicaciones de comunicaciones, sismología o monitoreo ambiental), dado que las mediciones se realizan en la presencia de señales no deseadas (ruido ambiental e interferencia de otras señales de origen biológico). Además del procesamiento de las señales, también existe interés en desarrollar modelos físicos a partir de dichas mediciones.

En el caso de aplicaciones biomédicas, el trabajo consiste en desarrollar métodos para la localización de fuentes eléctricas en el cerebro utilizando arreglos de electrodos (electroencefalografía o EEG) o magnetómetros (magnetoencefalografía o MEG) colocados alrededor de la cabeza para medir, respectivamente, señales eléctricas o magnéticas relacionadas con la actividad cerebral [1]. Esto tiene gran importancia en aplicaciones clínicas, tales como encontrar los orígenes de ataques epilépticos, o en neurociencias, para el mapeo de las funciones cerebrales (figura 1). Igualmente, a partir de mediciones de EEG se desarrollan métodos para establecer un canal de comunicación directo entre el cerebro y una

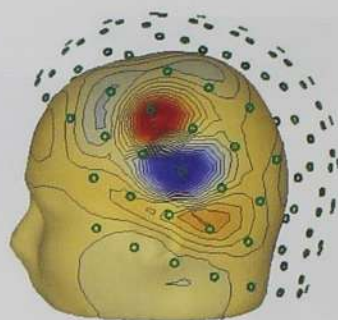


Figura 1. Activación de un foco epiléptico de tipo Jacksoniano medido con un arreglo de detectores de MEG.

computadora, sin que intervenga ninguna actividad motriz [2]. Esta tecnología, conocida como *interfaz cerebro-computadora*, tiene implicaciones directas en el mejoramiento de la calidad de vida de pacientes paraplégicos o tetraplégicos, al proporcionarles un medio para comunicarse con una computadora utilizando tan sólo sus pensamientos, lo que en algún grado puede sustituir la comunicación dañada entre su cerebro y sus miembros. Se espera que con esta comunicación cerebro-computadora, los pacientes puedan dar órdenes a algún brazo robótico, a una silla de ruedas, o simplemente puedan introducir comandos en una computadora que les permitan realizar acciones cotidianas.

Las mediciones no se limitan al estudio de la actividad cerebral. Actualmente se trabaja en distintos tipos de tecnologías que permiten analizar señales provenientes de cualquier otra parte de nuestro cuerpo. Recientemente surgió el interés por desarrollar técnicas de procesamiento de señales magnéticas provenientes del abdomen materno, con el fin de estudiar la actividad cerebral y cardíaca del feto. Este tipo de tecnología se basa también en un sistema de magnetómetros que cubren el abdomen materno y que miden, de forma totalmente pasiva y no invasiva, las señales magnéticas generadas por el cerebro y corazón del feto en distintas etapas de la gestación. Este tipo de investigación tiene, sin duda, gran importancia en el estudio del desarrollo del feto y en la caracterización de distintas patologías [3]. La ventaja de este tipo de estudios frente a métodos clínicos convencionales basados en ultrasonido es la gran resolución en tiempo, lo que permite el estudio preciso del ritmo cardíaco fetal y de la respuesta cerebral ante estímulos auditivos (figura 2) y visuales, así como la detección de las señales magnéticas desde etapas tempranas de la gestación (muchas veces desde la semana 16). Sin embargo, este tipo de tecnología aún se encuentra en etapa experimental y sólo hay disponibles cuatro equipos dedicados al estudio magnético del feto; uno en Estados Unidos y tres más en Alemania. Es a partir de una colaboración directa con el grupo precursor de esta tecnología en Alemania que se obtienen los estudios clínicos fetales para su posterior análisis en el Cinvestav, Unidad Monterrey, con métodos

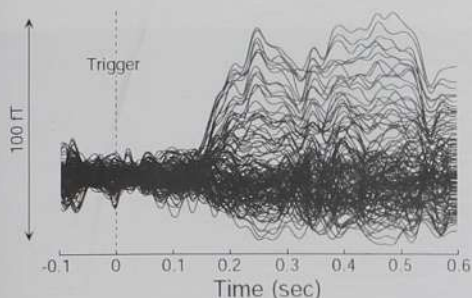


Figura 2. Señales de MEG muestran un cambio en la actividad cerebral del feto tiempo después de que un estímulo auditivo (trigger) ha sido proporcionado [3].

y técnicas de procesamiento desarrollados en este centro de investigación. La meta de esta línea de trabajo es el desarrollo de técnicas más eficientes y precisas, para que en un futuro se extienda el uso clínico de esta tecnología y se dé un mejor seguimiento al estado de salud del feto.

Microfluidez

La microfluidez estudia el comportamiento, manipulación y aplicaciones del transporte de fluidos en componentes de tamaño microscópico, es decir, con al menos una dimensión de tamaño entre 1 y 100 micras [4] (una micra equivale a una milésima de milímetro). Las componentes de un dispositivo de este tipo incluyen canales, válvulas, bombas, filtros, separadores, detectores, etcétera, integrados en un delgado sustrato de plástico de un área de pocos centímetros cuadrados. Estos elementos tienen diferentes funciones tales como transportar, separar (figura 3), mezclar y analizar volúmenes de fluidos del orden de nanolitros, es decir, 0.000000001 litros. Algunos de los microcomponentes de estos dispositivos son manipulados a través de campos externos tales como el eléctrico [5], magnético y pinzas ópticas.

El estudio de la microfluidez surgió a mediados de los años setenta del siglo pasado [7]. Sin embargo, su popularidad empezó a crecer hasta finales de los años noventa, ya que los primeros dispositivos de este tipo se fabricaron directamente con la adaptación de las técnicas usadas por la industria microelectrónica, que resultaron poco prácticas. Recientemente, estas técnicas fueron sustituidas por la técnica de litografía suave, que

presenta ventajas como la integración de los diferentes microcomponentes del dispositivo en un material flexible, biocompatible, transparente y económico. El material más comúnmente usado es el polidimetilsiloxano (PDMS), una clase de aceite de silicón, cuyas características lo convierten en un material ideal para realizar estudios en sistemas biológicos y químicos.

La técnica de litografía suave consiste en lo siguiente: un sustrato de silicio se cubre con una capa uniforme de una sustancia fotosensible a luz ultravioleta (UV), de pocas micras de grosor; por otro lado, una plantilla que contiene regiones transparentes y oscuras bloquea la exposición de luz UV en algunas regiones del sustrato; las regiones expuestas se polimerizan y se adhieren al sustrato, mientras que las no expuestas permanecen líquidas y son removidas en un proceso de revelado, con lo cual se obtiene un molde; posteriormente, se deposita una capa delgada de PDMS líquido en el molde, la cual se polimeriza por calentamiento para obtener una copia ópticamente transparente; después, el plástico se desprende del sustrato y se pega a un portaobjetos, que es finalmente con lo que se trabaja.

Un "chip" de este tipo tiene varias analogías con los chips de la microelectrónica, pero a diferencia de éstos (en los se hacen fluir cargas eléctricas), aquí se transportan líquidos a través de una compleja red de microcanales y otros microcomponentes. Una de las motivaciones para el surgimiento de esta área de investigación fue, precisamente, el chip de la computadora, que inspiró la fabricación de redes de canales a través de los cuales se pudieran transportar líquidos.

El propósito de fabricar estos dispositivos es integrar diversas funciones, examinadas a manipular fluidos a escala microscópica. Esto ha hecho posible la miniaturización de tecnologías de laboratorio, permitiendo la realización de múltiples procesos simultáneos, con una cantidad mínima de reactivos. Las escalas de tiempo para los experimentos realizados en estos dispositivos también se reducen drásticamente, debido al tamaño microscópico de los componentes. A diferencia de la microelectrónica, donde el énfasis actual es reducir el tamaño de los transistores u otros componentes, el *status* actual de la microfluidez está enfocando en la fabricación de dispositivos automatizados que incluyan cada vez más componentes.

En estas condiciones severas de confinación, el comportamiento de los fluidos es dominado por las fuerzas interfaciales y viscosas. Es decir, los efectos que dominan el transporte cambian radicalmente respecto al caso macroscópico. Muchos de estos efectos han sido explotados para aplicaciones específicas, como por ejemplo, para la separación de ADN en microcanales [8].

Además de la microelectrónica, al menos dos áreas más motivaron el desarrollo inicial de la microfluidez: el análisis y la biología molecular. De hecho, sus orígenes se encuentran con la miniaturización de técnicas cromatográficas [7], que se usan para separar diferentes compuestos químicos de una mezcla multicomponente. La tercera motivación surgió con el

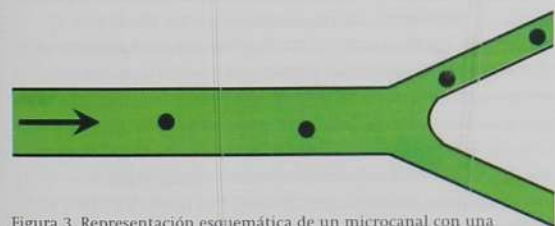


Figura 3. Representación esquemática de un microcanal con una bifurcación, que puede ser usada para separar células del plasma sanguíneo [6]. Las células tienen la tendencia a transportarse por la rama que tenga la mayor velocidad de flujo. El diámetro de las ramas es del orden del tamaño de las células.



Figura 4. Laboratorio de Microfluidez.

auge de la genómica en los años ochenta del siglo XX. Actualmente, la microfluidez se aplica en áreas muy diversas, además de las anteriormente mencionadas: biología celular, dispositivos para diagnóstico clínico, síntesis química, etcétera.

Un ejemplo de la aplicación de esta técnica es el estudio del transporte de glóbulos rojos, en canales de tamaño comparable al de los capilares sanguíneos del sistema circulatorio humano [9-11]. Esto ha permitido analizar propiedades mecánicas de células sanas sometidas a un flujo, así como también el cambio de dichas propiedades en células con *diabetes mellitus*, o en células infectadas con *malaria*. Específicamente, lo que se observa en las células son las deformaciones de las membranas al ser sometidas a diferentes condiciones de confinamiento. Esta técnica tiene la ventaja de simplificar el estudio de las múltiples interacciones físicas y bioquímicas entre células fijas y móviles, que conforman un sistema circulatorio real. También ha sido utilizada para diseñar dispositivos que permiten la separación de diferentes componentes sanguíneos [6]. Estos dispositivos explotan diferentes propiedades físicas de fluidos a escalas microscópicas; por ejemplo, la distribución asimétrica de fuerzas cortantes en la superficie celular y diferencias de presión en las bifurcaciones. Los estudios que se desarrollan actualmente están dando lugar a una nascente industria de dispositivos médicos para diagnóstico clínico de fluidos fisiológicos humanos [12].

El estudio de la microfluidez (Cinvestav-Monterrey)

Actualmente estamos investigando la potencialidad que ofrece la microfluidez para el estudio de sistemas biológicos, y su aplicación en el desarrollo de

dispositivos médicos. En particular, nos interesa el estudio de las propiedades mecánicas de glóbulos rojos, al ser transportados a través de microcanales de tamaño comparable al diámetro de dichas células, y la comparación de dichas propiedades entre células sanas y enfermas.

Para realizar estos estudios se cuenta con la técnica de litografía suave, misma que se usa para la fabricación de los arreglos de microfluidez (figura 4). Asimismo, para realizar el análisis contamos con las técnicas de Video Microscopía Digital (VMD) y Microscopía Confocal (MC). La técnica de VM consiste en una cámara de video acoplada a un microscopio óptico convencional; así, las imágenes son enviadas a un grabador DVD para posteriormente almacenarlas y procesarlas en una computadora. El procesamiento se lleva a cabo utilizando un lenguaje de programación orientado al manejo de imágenes. En esta última etapa, normalmente se mejora su calidad, se realizan los objetos que son de interés para obtener información cuantitativa como trayectorias, velocidades, etcétera.

Por otro lado, el microscopio confocal (figura 5) permite obtener automáticamente imágenes tridimensionales de una muestra, como células, tejidos, etcétera. Para esto, utiliza un láser como fuente luminosa. Dicho láser realiza un barrido sobre todo el volumen de la muestra, punto por punto y plano por plano, con lo que se obtienen imágenes bidimensionales que pueden ser ensambladas en una tridimensional. Una característica esencial en este caso es que las muestras deben estar marcadas con moléculas fluorescentes, es decir, por moléculas que absorben un fotón de una cierta longitud de onda, y emiten otro con una longitud de onda mayor a la incidente.

Al egresar, los estudiantes del programa de maestría en Ingeniería y Física Biomédicas deberán ser capaces de incorporarse como responsables científicos en una unidad hospitalaria en las áreas de análisis y procesamiento de imágenes médicas, así como de diagnóstico y terapia mediante radiaciones.



Figura 5. Microscopio confocal.

Biología computacional y de sistemas

Hace pocos años surgió una nueva área de investigación interdisciplinaria en biología: la *biología de sistemas*, que continúa con una larga tradición que data de los orígenes de la ciencia misma –William Harvey (1578-1657) descubrió la circulación de la sangre con la ayuda de un modelo matemático. Los antecedentes más recientes de lo que hoy llamamos biología de sistemas son la teoría de sistemas y la cibernética. Dado que la primera hereda parte de la filosofía y las metas de las segundas, resulta interesante revisarlas, aunque sea brevemente.

La teoría de sistemas, fundada en la década de 1950, es una ciencia interdisciplinaria que estudia las relaciones entre sistemas, vistos éstos como un todo. La dinámica de sistemas es una parte central de esta teoría; provee métodos para entender el comportamiento dinámico de sistemas complejos. Dichos métodos se basan en el reconocimiento de que la estructura de un sistema (las relaciones cíclicas, entrelazadas y a veces retardadas, entre sus componentes) influye tanto en la dinámica global del

sistema como en las partes del mismo; ejemplos son la teoría del caos y la dinámica social.

Por otra parte, la cibernética estudia los mecanismos de regulación y control (que típicamente involucran retroalimentación) en seres vivos y máquinas. Se trata de un término, algo arcaico pero todavía en uso, que se relaciona con áreas tales como sistemas adaptables, sistemas expertos, sistemas dinámicos, teoría de la información, teoría de sistemas, investigación de operaciones, simulaciones, e ingeniería de sistemas.

La cibernética contemporánea empezó en la década de 1940, como un área de investigación interdisciplinaria, que conecta los campos de teoría del control, teoría de redes eléctricas, modelación, neurociencias y fisiología humana. Se caracteriza por enfatizar las relaciones entre los componentes de un sistema, en lugar de los componentes mismos. Estas relaciones incluyen la transferencia de información, así como relaciones circulares (retroalimentación), que resultan en fenómenos emergentes como la autoorganización. El término *cibernética* fue acuñado por

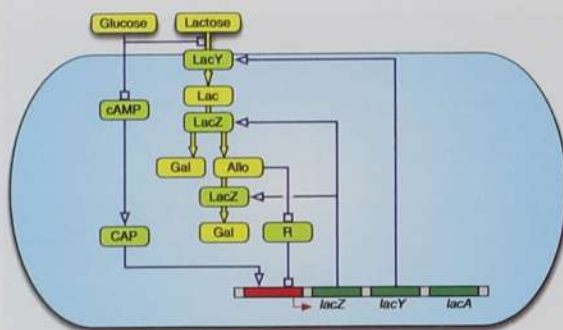


Figura 6. Mecanismo de regulación del operón lactosa.

su autor intelectual (Norbert Wiener, 1894-1964) para denotar el estudio de *mecanismos teleológicos* (máquinas con retroalimentación correctiva), y fue popularizado por su libro *Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and Machine* (1948). Curiosamente, Wiener fue uno de los matemáticos más influyentes del siglo veinte. Es importante mencionar que el fundador del Cinvestav, el Dr. Arturo Rosenblueth, conoció a Wiener en 1942 y trabajó con él en el análisis funcional del sistema nervioso, dando lugar a una colaboración que se publicó en 1943. De dicha publicación partió Wiener para desarrollar la cibernética. La colaboración entre ambos científicos continuó por muchos años, durante los cuales estudiaron el transporte de información de los impulsos nerviosos. Sus resultados dieron lugar a un modelo matemático en el que se describen los impulsos en una red de células nerviosas, y se lleva a cabo un análisis estadístico del proceso de comunicación entre las neuronas [13].

¿Qué es la biología de sistemas?

Es una ciencia que busca integrar diferentes niveles de información para entender el funcionamiento de los sistemas biológicos. Se espera que a partir del estudio de las relaciones e interacciones entre las partes de un sistema biológico (redes de genes y proteínas involucradas en la señalización celular, rutas metabólicas, sistemas fisiológicos, organismos, etcétera) se pueda desarrollar un modelo coherente del sistema completo. Como heredera de lo que originalmente se llamó fisiología humana, la biología de sistemas busca expandir la fisiología para que incluya a la bioquímica y a la biología molecular.

En contraste con gran parte del trabajo en biología molecular, la biología de sistemas no busca descomponer un sistema en sus partes más esenciales y estudiarlas por separado, con la esperanza de posteriormente reensamblar el sistema original. Más bien, comienza estudiando los genes y las proteínas en un organismo dado usando técnicas masivas de procesamiento de datos, para cuantificar los cambios que ocurren en el genoma y las proteínas en respuesta

a perturbaciones en el medio. Estas técnicas incluyen microarreglos de ADN y ARN, espectrometría de masas, etcétera. Pero lo anterior es sólo el inicio, pues el propósito de la biología de sistemas es establecer un compromiso entre los detalles moleculares y el comportamiento dinámico del sistema completo. Usando este conocimiento integral, el biólogo de sistemas puede proponer hipótesis que expliquen el comportamiento del sistema. Después se puede modelar matemáticamente al sistema a partir de estas hipótesis, y los modelos pueden usarse para predecir cómo los cambios en el medio afectan el funcionamiento del sistema. Finalmente, se pueden diseñar experimentos para comprobar las predicciones de los modelos, y continuar con el procedimiento anterior de manera iterativa.

Los análisis más recientes comprueban que las señales celulares no se propagan linealmente; por el contrario, las redes de señalización celular pueden usarse para regular múltiples funciones, dependiendo del contexto. Debido a la magnitud y complejidad de las interacciones en una célula, no es posible entender intuitivamente el comportamiento sistémico de la red completa. Por lo anterior, es necesario desarrollar modelos matemáticos y analizar su comportamiento dinámico, tanto para entender el sistema en su conjunto como para elaborar predicciones que puedan probarse experimentalmente.

Biología computacional y de sistemas (Cinvestav-Monterrey)

Día con día se desarrollan nuevos enfoques para estudiar los problemas mencionados anteriormente. Entre las personas que están desarrollando estas herramientas se encuentran biólogos computacionales, estadísticos, matemáticos, científicos computacionales y físicos. De acuerdo con modelos computacionales recientes, muchas redes genéticas parciales o completas muestran lo que se ha dado en llamar *propiedades emergentes*. Es decir, propiedades que sólo se observan cuando el sistema está funcionando y que no pueden encontrarse en las partes o componentes del mismo.

En el laboratorio de biología computacional y de sistemas del Cinvestav Monterrey, estamos estudiando la biología de sistemas de circuitos genéticos bacterianos simples como: el operón triptófano (los genes contenidos en este operón codifican las enzimas necesarias para sintetizar el aminoácido triptófano); el operón lactosa (sus genes codifican las enzimas que permiten a las bacterias metabolizar el azúcar lactosa; figura 7); el *switch* del fago lambda (después de que las bacterias son infectadas por el virus conocido como fago lambda, este *switch* regula si los genes del virus permanecen *dormidos* o se sintetizan nuevos virus, que eventualmente infectarán otras bacterias), etcétera. La sencillez de estos sistemas y lo extensivo de los estudios a que han sido sometidos los hacen excelentes candidatos para ser analizados mediante un enfoque de modelación matemática. Los problemas en los que actualmente trabajamos son:



Figura 7. Arreglo experimental que muestra la posición del cristal analizador, así como del fantasma y del detector.

- Robustez dinámica y optimización termodinámica en circuitos de regulación genética.
- Multiestabilidad y comportamiento estocástico en el operón lactosa y el switch del fago lambda.
- Retardos temporales y comportamiento oscilatorio de relojes moleculares.

El lector interesado en profundizar más en estos temas puede consultar la referencia [14].

Imágenes de rayos X

Los métodos de adquisición de imágenes por rayos X, como actualmente se conocen, están basados en la habilidad de distinguir diferentes tejidos gracias a la capacidad que tienen de absorber este tipo de radiación. Por ejemplo, puede diferenciar el tejido óseo con claridad por a la enorme absorción que presenta

comparado con el tejido blando que le rodea. Los detectores hasta ahora desarrollados para la captación de imágenes están hechos para proporcionar el contraste de la imagen basándose únicamente en las diferencias en intensidad (es decir, en el número de fotones recolectado), produciendo así los patrones de sombras y penumbras que conocemos.

Los haces de rayos X (que forman parte del espectro electromagnético) presentan efectos de refracción y difracción similares a los que se pueden observar con la luz visible. Sin embargo, debido a su longitud de onda -del orden de Å (el angstrom es una unidad de longitud, $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$)-, los rayos X son invisibles al ojo humano, y resulta sumamente complicado observar los efectos de refracción y difracción. Por lo tanto, estos efectos son tradicionalmente ignorados en la reconstrucción de imágenes radiológicas.

Entre las líneas de investigación que actualmente se cultivan en la Unidad Monterrey figura el procesamiento de señales para aplicaciones biomédicas. Se están desarrollando métodos para la localización de fuentes eléctricas en el cerebro, así como tecnologías que permitan comunicación directa entre el cerebro y una computadora.

En la última década fue posible desarrollar nuevas técnicas de adquisición de imágenes de rayos X, que incluyen información relativa a los efectos de refracción. Estos efectos involucran cambios en la fase de los haces de rayos X. Los cambios de fase representan cambios en la dirección de propagación que los haces de luz experimentan al atravesar diversos materiales; esto es, la luz que se espera viaje en una cierta dirección es de pronto desviada al atravesar las fronteras entre materiales con diferente composición. El efecto equivalente en la luz visible nos es muy familiar; un ejemplo son los *espejismos*, con la típica ilusión del pavimento mojado en la carretera los días soleados de verano.

Las imágenes que basan su contraste en la información relativa a los efectos de refracción, y no tanto en la información debida a la atenuación del haz, son conocidas como imágenes con contraste de fase. Este tipo de imágenes, pero con luz visible, han sido utilizadas desde hace décadas en lo que se conoce como microscopía de contraste de fase. La manera de explotar esta información ha sido desarrollada de modo que se pueden catalogar diversos mecanismos para tal fin [15]. Dichos mecanismos van de la observación de los patrones de interferencia (basados en la comparación del haz de fotones que atraviesa la muestra con respecto a un haz de referencia el cual se mantiene sin modificar), en un arreglo con fuente casi puntual y con grandes distancias entre fuente-objeto y objeto-detector [16], a las técnicas que utilizan arreglos de interferómetros contruidos sobre un monolito de cristal perfecto (un bloque de cristal producido de manera que alcance una alta pureza garantiza un arreglo ordenado de las moléculas del material del que está hecho, como silicio o germanio); e inclusive a las técnicas que utilizan cristales perfectos como cristales analizadores (figura 8), es decir, cristales que por sus propiedades son utilizados como filtros, los cuales permiten hacer una discriminación de los fotones que han sufrido desviaciones en su dirección de propagación, haciendo posible la observación con alto contraste de los bordes de las diversas estructuras internas del objeto (estructuras que localmente presentan diferencias en el índice de refracción) [17-19].

Este tipo de información ha probado ser muy útil para imágenes donde es necesario observar los detalles, especialmente de pequeñas estructuras, con buen contraste y nitidez; por tanto, tiene gran aplicación en los mecanismos de inspección industrial, por ejemplo, en la fabricación de microcircuitos. Estas metodologías han sido desarrolladas aprovechando las bondades (como una alta luminosidad) de la radiación de sincrotrón, que es producida por la aceleración de partículas cargadas, como electrones, las cuales son contenidas y aceleradas en anillos que pueden llegar a medir más de 250 metros de diámetro.

Con el propósito de llevar su aplicación al mayor mercado posible, se ha impulsado la fabricación de fuentes compactas de rayos X que permiten la adquisición de imágenes por contraste de fase, particularmente para uso industrial, en sistemas de seguridad y de investigación.



Figura 8. Adquisición de la *rocking curve*, que muestra la reflectividad del cristal como función del ángulo de incidencia del haz monocromático de rayos X.

Radiología por contraste de fase en medicina

En las técnicas que utilizan las características del cristal analizador, particularmente en la técnica denominada *Diffraction Enhanced Imaging* (DEI), la atención se enfoca en una posible aplicación de la información de las variaciones de la fase para mejorar las imágenes médicas [20-21].

La utilización del cristal analizador hace posible la optimización del uso del contraste de fase. Para cada arreglo cristalino existe una relación que determina el ángulo de incidencia del haz de rayos X que producirá un haz *reflejado*, como función de la energía del haz de fotones. Esta relación establece un ángulo para el cual la intensidad de luz reflejada alcanzará su máximo. Actualmente es posible hacer un escaneo alrededor de tal máximo mediante la rotación del cristal a un ritmo de microradianes (que es el ángulo que forman dos líneas de 1 km de longitud separadas en uno de sus extremos por un milímetro de distancia), mientras se le hace incidir un haz monocromático de rayos X (esto es, un haz de rayos X de un solo color, o equivalentemente, un haz que contiene fotones de una sola energía). Esto permite medir la razón de intensidad *reflejada* respecto a la intensidad *incidente*, como función del ángulo de incidencia del haz, información que se conoce como *rocking curve* (figura 9). Una vez obtenida esta curva, se



Figura 9. Cuarto de control del laboratorio de rayos X en la Unidad Monterrey. Se observa la consola de mando de la fuente y algunos componentes de electrónica involucrados en la operación de algunos detectores.

La microfluidez estudia el comportamiento, manipulación y aplicaciones del transporte de fluidos en componentes de tamaño microscópico. El surgimiento de esta área de investigación se debe a la microelectrónica y a la invención del chip de la computadora, que inspiró la fabricación de redes de canales a través de los cuales se pudieran transportar líquidos. Útil en las áreas de las biología molecular y celular, en la producción de dispositivos para diagnóstico clínico, así como en los procesos de síntesis química, en el Cinvestav-Monterrey, la microfluidez se emplea en la investigación de las propiedades mecánicas de glóbulos rojos.

plantea la utilización de un algoritmo especial para el procesamiento de las imágenes obtenidas a ángulos que difieren del máximo de reflectividad por algunos microradianes. Estos algoritmos buscan la separación de la información debida a absorción de la correspondiente a los efectos de refracción, para la reconstrucción de las imágenes.

Este tipo de técnicas ha probado ser de gran interés para aplicaciones en medicina, particularmente en lo que refiere a la visualización de lesiones de la glándula mamaria. Lo anterior permite un diagnóstico temprano mediante la detección de microcalcificaciones, cuyo tamaño es del orden de 50 micras (50 milésimas de milímetro), las cuales están asociadas a estadios tempranos de cáncer mamario. Esta técnica también ha sido usada en la adquisición de imágenes de gran contraste para el estudio de tejido óseo.

Laboratorio de imágenes de rayos X (Cinvestav-Monterrey)

En este laboratorio se busca contribuir en la investigación de los límites físicos que presentan las técnicas de

contraste de fase. Se utiliza un cristal analizador y una fuente para diagnóstico por rayos X, en lugar de fuentes de energía de mayor costo como el sincrotrón.

En el laboratorio se cuenta con una fuente microfocal (figura 10), con un sistema de enfoque electromagnético que permite tener radiación X producida en un área del orden de 10 micras (1×10^{-6} m). Esto se traduce, para efectos de la investigación, en la utilización de una aproximación de fuente casi puntual (figura 11). La fuente microfocal produce haces de rayos X con energías propias de la radiología médica. Asimismo, el laboratorio cuenta con una mesa óptica y detectores para la adquisición de imágenes tanto analógicas como digitales (figura 12); infraestructura necesaria para la utilización de detectores de gas para radiación ionizante, desarrollados *ex profeso* para este tipo de investigación, así como las plataformas computacionales para la correcta realización del procesamiento de imágenes.

El interés central de la labor de investigación se enfoca, en este momento, en el diseño de la óptica más apropiada y de la determinación del cristal analizador más adecuado [22].

La biología de sistemas es una nueva área de investigación interdisciplinaria, originada en la teoría de sistemas y la cibernética. Integra diferentes niveles de información, concretamente de la bioquímica y la biología molecular, para proponer hipótesis y modelos matemáticos que expliquen el comportamiento dinámico de un determinado sistema completo. En el laboratorio de biología computacional y de sistemas del Cinvestav-Monterrey actualmente se desarrolla un estudio de la biología de sistemas de circuitos genéticos bacterianos simples.

Radiaciones y dosimetría

Los procesos de interacción de las partículas con la materia, y los efectos que producen en ésta, varían dependiendo del tipo de partícula incidente y de su energía, así como del material sobre el que inciden.

La radiación, que es energía en movimiento, puede transmitirse no sólo mediante partículas, sino también mediante ondas. En el primer caso figuran los protones, los electrones, los positrones (electrones cargados positivamente), las partículas alfa (núcleos de helio) y los neutrones, todas éstas partículas con masa y, a excepción de los neutrones, también con carga. En el segundo caso, están los rayos X y los rayos gamma, ambos sin carga ni masa.

Cuando la radiación interacciona con la materia, colisiona fundamentalmente con los electrones constituyentes de los átomos, que, finalmente, son los responsables de realizar el depósito de energía [23]. En algunos casos, cuando las partículas son muy masivas, como ocurre con las partículas alfa, éstas se mueven siguiendo trayectorias prácticamente rectas, y el depósito de energía se realiza de manera muy localizada alrededor de la trayectoria de la partícula incidente. A este tipo de radiación se le conoce como densamente ionizante. A diferencia de éstos, hay otros casos, como el de los electrones y positrones que poseen masas insignificantes, y los rayos X y rayos gamma que no tienen masa, y en los que el depósito de energía se realiza de manera más extendida alrededor de la trayectoria de la partícula incidente. A este otro tipo de radiación se le conoce como débilmente ionizante. La dosimetría tiene como finalidad la cuantificación de la dosis o energía depositada en un medio expuesto a este tipo de radiaciones.

A inicios de la década de los sesenta del siglo pasado surgió un área que ha crecido de manera importante hasta nuestros días: la dosimetría termoluminiscente (TL). El fenómeno de termoluminiscencia consiste en la emisión de luz por un material, previamente irradiado, cuando se le estimula térmicamente. Esta emisión o respuesta TL se conoce como curva de brillo [24], y permite obtener información relevante de los fenómenos que ocurren a escalas microscópicas; cuando la radiación penetra en un material y, posteriormente, cuando se libera dicha energía durante un proceso de calentamiento. El material empleado para tal efecto tiene la característica de ser un semiconductor y de estar "contaminado" intencionalmente con algunas impurezas (por ejemplo, magnesio, titanio o disprosio),

que permiten que se lleve a cabo el fenómeno TL.

Dispositivos como el mencionado anteriormente, utilizados para medir dosis de radiación, reciben el nombre de dosímetros. Están hechos a base de materiales denominados tejido-equivalente (llamados así por ser materiales equivalentes al tejido humano, en el sentido de que tienen números atómicos comparables) y son ampliamente usados en aplicaciones médicas y de seguridad radiológica, así como en el área de dosimetría espacial.

Aunque actualmente la dosimetría TL pudiera considerarse como una técnica bien establecida, el proceso básico a nivel microscópico no está aún bien comprendido. Por ejemplo, cuando un dosímetro TL se expone al tipo de radiación antes descrita, se espera que la cantidad de luz liberada sea proporcional a la energía depositada durante la etapa de irradiación. Sin embargo, los estudios realizados con distintos tipos de radiación demuestran que esto no ocurre necesariamente. En particular, sólo se observa una respuesta lineal a dosis relativamente bajas; a medida que la dosis va aumentando, la respuesta, en general, tiene un comportamiento que no es necesariamente proporcional a la dosis, sino mayor. Este es uno de los temas que constituyen un amplio campo de estudios en el área de dosimetría TL.

Otro tipo de dosímetros ampliamente usado en aplicaciones médicas e industriales son las películas de tinte radiocrómico [25]. Se trata de plásticos transparentes, sensibles al tipo de radiación mencionada. La radiación ocasiona un cambio en la densidad óptica de la película que se manifiesta con un cambio en su coloración; se torna azulada. La intensidad del tono azulado depende de la cantidad de energía depositada. Por su alta resolución, estas películas permiten evaluar la uniformidad de un haz de radiación, y medir la dosis absorbida en sitios en donde existe un gradiente de dosis importante. Existen diferentes tipos de películas de tinte radiocrómico, cuyo uso depende del rango de dosis esperado en las mediciones.

La medición de la dosis absorbida juega un papel muy importante en diversos campos. Por mencionar un caso, se usa en la planeación de ciertos tratamientos médicos en donde se aplica un haz de radiación en sitios muy pequeños, de difícil acceso, o de morfología muy irregular, y que requieren de cálculos precisos para hacer coincidir el haz en dicha zona, minimizando su contacto con el tejido sano.

En la década pasada fueron desarrolladas nuevas técnicas de adquisición de imágenes de rayos X, que incluyen información relativa a los efectos de refracción. Con el propósito de llevar su aplicación al mayor mercado posible, se ha impulsado la fabricación de fuentes compactas de rayos X que permiten la adquisición de imágenes por contraste de fase, particularmente para uso industrial, en sistemas de seguridad y de investigación. En el Laboratorio de imágenes de rayos X del Cinvestav-Monterrey se están investigando los límites físicos que presentan las técnicas de contraste de fase; el interés central está en el diseño de la óptica más apropiada.

Otro campo de aplicación que ha sido de mucho interés en la investigación en los últimos años es la dosimetría espacial. En los viajes al espacio exterior, los astronautas están expuestos directamente a campos combinados de diversos tipos e intensidades. El problema de la diferenciación entre ellos y su efecto en los materiales, como el caso del tejido humano, ha sido uno de los temas a los que se ha abocado la dosimetría últimamente.

La seguridad y la protección radiológica es otra área en la que la dosimetría tiene una fuerte participación. La prevención de accidentes y el control de la dosis absorbida por personas que trabajan directamente con fuentes radiactivas (como técnicos de hospitales o de la industria) son sólo un par de ejemplos.

El estudio de la dosimetría (Cinvestav-Monterrey)

Uno de los intereses del grupo de investigación es el estudio y aplicaciones de los materiales mencionados anteriormente, expuestos a diferentes campos y energías de radiación, por ejemplo, las provenientes de aceleradores de partículas, fuentes radiactivas calibradas y bombas de cobalto, como las usadas en los hospitales. Para esto aplicamos algunos métodos rigurosos ya establecidos para la preparación, la irradiación y la evaluación de la respuesta del material irradiado [26];

pero también, desarrollamos técnicas alternas de dosimetría. Para este fin, se cuenta con dos laboratorios, el equipo, la infraestructura y las condiciones de trabajo para hacer investigación. Uno de estos laboratorios se dedica a dosimetría termoluminiscente y el otro hace dosimetría pero con diferentes materiales, incluidas las películas radiocrómicas (figura 13).

Adicionalmente, en la Unidad Monterrey del Cinvestav se mantienen colaboraciones en las que uno de los objetivos principales es el fechamiento de piezas cerámicas [27]. Se trata de un proceso sistemático que involucra la aplicación de la dosimetría termoluminiscente, como una herramienta poderosa para evaluar la contribución de los diferentes tipos de radiación natural que inciden en una cerámica durante el tiempo que ha estado enterrada, relacionando esta energía depositada con la edad de la pieza.

Conclusiones

Con este esfuerzo, el Cinvestav aprovecha para establecerse en una de las ciudades más importantes del país, y en un estado que tiene un programa ambicioso en ciencia y tecnología. Adicionalmente, la nueva unidad inicia un estilo novedoso y vanguardista de hacer investigación en ciencias biomédicas y en educación. ●

[Referencias]

- [1] Gutiérrez, D., A. Nehorai y A. Dogandzic. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 53: 840, 2006.
- [2] Gutiérrez, D., F. García y J. Solano. *Proceedings of the 2005 1st IEEE International Workshop on Computational Advances in Multi-Sensor Adaptive Processing*, 221, 2005.
- [3] Preissl, H., C.L. Lowery y H. Eswaran. *International Review of Neurobiology*, 68: 1, 2005.
- [4] Whitesides, G.M. y A.D. Strook. *Phys. Today*, 54: 42, 2001.
- [5] Santana-Solano, J., D. T. Wu y D. W. M. Marr. *Langmuir*, 22: 5932, 2006.
- [6] Yang, S., A. Undar y J.D. Zahn. *Lab on a Chip*, 6: 871, 2006.
- [7] Reyes, D.R., D. Lissifidis, P.A. Auroux y A. Manz. *Anal. Chem.*, 74: 2623, 2002.
- [8] Wainright, A., U.T. Nguyen, T. Bjornson y T.D. Boone. *Electrophoresis*, 24: 3784, 2003.
- [9] Carroll, J., M. Raththagala, W. Subasinghe, S. Baguzis, T.D. Oblak, P. Root y D. Spence. *Mol. BioSystems*, 2: 305, 2006.
- [10] Shelby, J.P., J. White, K. Ganesan, P.K. Rathod y D.T. Chiu. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 100: 14618, 2003.
- [11] Noguchi, H. y G. Gompper. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 102: 14159, 2005.
- [12] <http://www.ibn-a-star.edu.sg>.
- [13] Quintanilla, S. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 7: 303, 2002.
- [14] http://redescolar.ilce.edu.mx/redescolar/jact_permanentes/mate/anecdotos/mate4n.htm
- [15] Santillán, M. y M.C. Mackey. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 98: 1364, 2001. Santillán, M. y M.C. Mackey. *Biophys. J.*, 86: 84, 2004. Santillán M. y M.C. Mackey. *Biophys. J.*, 86: 1282, 2004. Santillán, M. y E.S. Zeron. *J. Theor. Biol.*, 231: 287, 2004. Santillán, M. y E.S. Zeron. *Bull. Math. Biol.*, 68: 343, 2006.
- [16] Fitzgerald, R. *Phys. Today*, 53: 23, 2000.
- [17] Ingal, V.N., E.A. Beliaevskaya, A.P. Brianskaya y R.D. Merkurieva. *Phys. Med. Biol.*, 43: 2555, 1998.
- [18] Davis, T.J., D. Gao, T.E. Gureyev, A.W. Stevenson y S.W. Wilkins. *Nature*, 373: 595, 1995.
- [19] Wilkins, S.W., T.E. Gureyev, D. Gao, A. Pogany y A.W. Stevenson. *Nature*, 384: 335, 1996.
- [20] Chapman, D., W. Thomlinson, R.E. Johnston, D. Washburn, E. Pisano, N. Gmur, Z. Zhong, R. Menk, F. Arfelli y D. Sayers. *Phys. Med. Biol.*, 42: 2015, 1997.
- [21] Arfelli, F., V. Bonvicini, A. Bravin, G. Cantatore, G. Castelli, L. Dalla Palma, M. Di Michiel, M. Fabrizio.
- [22] Longo, R.H., R. Menk, A. Olivo, S. Pani, D. Pontoni, P. Poropat, M. Prest, A. Rashevsky, M. Ratti, L. Rigon, G. Tromba, A. Vacchi, E. Vallazza y F. Zanconati. *Radiology*, 215: 286, 2000.
- [23] Pisano, E.D., R.E. Johnston, D. Chapman, J. Geradts, M.V. Iacocca, C.A. Livasy, D.B. Washburn, D.E. Sayers, Z. Zhong, M.Z. Kiss y W.C. Thomlinson. *Radiology*, 214: 895, 2000.
- [24] Sanniguel, R.E., K. Kuper, H. J. Besch y H. Plathow-Besch. *AIP CP*, 724: 136, 2004.
- [25] Rickards, J. *Las radiaciones: reto y realidades*, Fondo de Cultura Económica, 1997.
- [26] Horowitz, Y.S. *Phys. Med. Biol.*, 26: 765, 1981.
- [27] Chair, A.N.R., C.R. Blackwekk, B.M. Coursey, K.P. Gall, J.M. Galvin, W.L. McLaughlin, A.S. Meigooni, R. Nath, J.E. Rodgers y C.G. Soares. *Med. Phys.*, 25: 2093, 1998.
- [28] Mercado-Urbe, H. y M.E. Brandan. *Nucl. Instr. and Meth. Res. B*, 222: 201, 2004.
- [29] Mercado-Urbe, H. *Conversus*, 14, 2006.

Extraña correspondencia entre dos mentes brillantes

PAULI Y JUNG SOSTUVIERON UNA RELACIÓN EPISTOLAR DURANTE 26 LARGOS AÑOS. SU CORRESPONDENCIA, AHORA REUNIDA BAJO EL TÍTULO *ATOM AND ARCHETYPE*, TIENE UN ALTO SIGNIFICADO NO SÓLO PARA LA FÍSICA Y LA PSICOLOGÍA; TAMBIÉN PARA LA HISTORIA DE LA CIENCIA, LA EPISTEMOLOGÍA E INCLUSO LA TEOLOGÍA.

Onofre Rojo Asenjo

Atom and Archetype. The Pauli-Jung Letters, 1932-1958, editado por C. A. Meier, con introducción de Beverly Zabriskie, es un libro publicado en inglés por Princeton University Press en 2001; existe una edición previa en alemán, a cargo de Springer-Verlag (1992), con el título *Wolfgang Pauli und C. G. Jung-Ein Briefwechsel 1932-1958*. El editor Meier, cofundador y primer presidente del C. G. Jung Institute, fue un notable psiquiatra fallecido hace algunos años, autor de varios libros de psicología junguiana y colaborador cercano de Jung.

Lo primero que llama la atención de este libro es su título: *Atom and Archetype*. ¿Qué relación puede existir entre estos conceptos? Y luego los correspondientes, Pauli y Jung; difícilmente podría encontrarse más asimetría entre ellos: el primero (P),¹ físico teórico, premio Nobel y figura señera de la física teórica por más de treinta años; el segundo (J), líder de todo movimiento en psicología que, al apartarse de Freud, llegó a postular la existencia del inconsciente colectivo y la idea de interpretaciones acausales entre hechos denominados sincrónicos. Por último, no deja de sorprender lo prolongado de esta correspondencia: 26 años, periodo durante el cual el mundo se debatía en guerras,

ideologías, terrores y holocaustos que, ya veremos, casi no se evidencian en las cartas.

A primera vista se confrontan aquí dos gigantes de dos disciplinas aparentemente disímiles pero, conforme avanza el intercambio epistolar, ellos van descubriendo que tienen mucho en común, sobre todo en lo que se refiere a sus principios básicos. Esta correspondencia, ahora reunida bajo el título *Atom and Archetype*, tiene un alto significado no sólo para la física y la psicología; también para la historia de la ciencia, la epistemología e incluso la teología. Presentemos, antes de seguir, breves semblanzas de los protagonistas.

Wolfgang Pauli (1890-1958) nació en Viena. Publicó su primer artículo sobre relatividad general en 1919 y cuatro años más tarde apareció su gran artículo "Relatividad" (en *Encyclopaedia*), el cual hizo exclamar a Einstein que era casi imposible que un joven de 23 años pudiera entender los fundamentos y formalismos de la teoría de la relatividad mejor que él mismo. Habilitado como profesor en Hamburgo, descubrió en el curso de sus clases el principio de exclusión (Principio de Pauli), instrumento imprescindible en la explicación de la estructura del átomo. En 1929, junto con Heisenberg,

ONOFRE ROJO ASENJO Maestro emérito del Instituto Politécnico Nacional. Por más de cuarenta años fue profesor titular de dicho Instituto, en las especialidades de física teórica, física nuclear y metodología de la ciencia. Fue profesor y autoridad académica en la Universidad Central de Venezuela. Es Doctor en Física Teórica. Cumplió estancias de posgrado en el Centro Internacional de Física Teórica de Trieste (Italia), la Universidad de Copenhague (Dinamarca), la Universidad Nacional Autónoma de México y la Universidad de Texas. Actualmente es profesor visitante de la Universidad

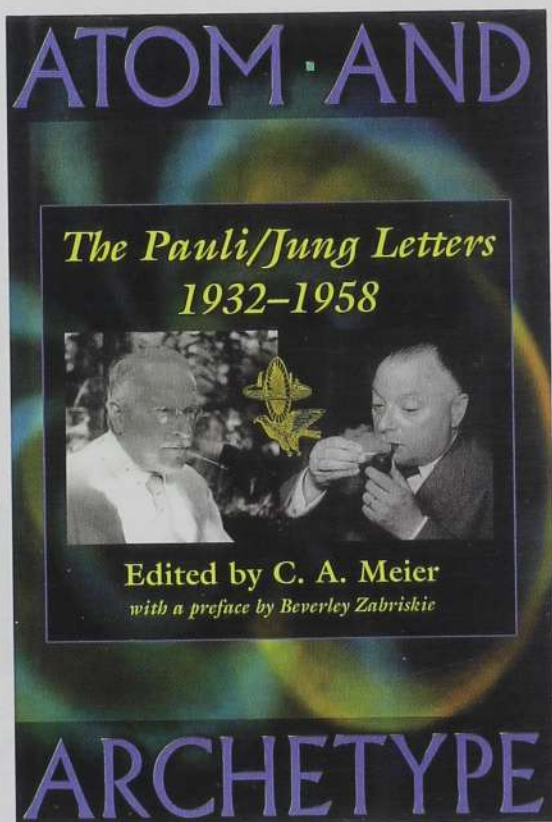
North Texas (EUA), la Universidad de Oviedo (España) y Cinvestav (México). Su investigación ha girado en torno a modelos para interacción (nucleon-nucleon), problemas de muchos cuerpos y materia condensada, así como problemas relacionados con la enseñanza y epistemología de la física. Es profesor honorario de la Universidad Simón Bolívar, Caracas, y posee la Medalla José María Vargas de la UCV. Pertenecer al Sistema Nacional de Investigadores (nivel 2).

orojo@cinvestav.mx

A los 23 años, siendo estudiante, Wolfgang Pauli provocó la envidia del propio Einstein, pues entendía los fundamentos y formalismos de la teoría de la relatividad mejor que su creador. Trabajó en la explicación de la estructura del átomo, estableció los fundamentos de una teoría general del campo cuántico y propuso la hipótesis del neutrino como partícula necesaria para explicar los procesos radiactivos. En 1945 recibió el premio Nobel de física.

estableció los fundamentos de una teoría general del campo cuántico y en 1930 propuso la hipótesis del neutrino como partícula necesaria para explicar los procesos radiactivos (finalmente detectada en 1956). En 1945 recibió el premio Nobel; antes y durante la segunda Guerra Mundial había estado en Princeton, pero no participó en el desarrollo de la bomba atómica. Durante los años 40 y 50 fue la conciencia de la física teórica y adelantado en teoría de las partículas elementales. Murió en Zurich en diciembre de 1958, después de haber sido profesor, con interrupciones, por casi treinta años en la ETH (*Eidgenössische Technische Hochschule*). Pauli, junto con Bohr y Heisenberg, constituyeron el pensamiento genuino de la llamada Escuela de Copenhague, que sentó las bases teóricas de la mecánica cuántica.

Carl Gustav Jung nació en Kesswil, Basilea (Suiza) en 1875 (era, por tanto, 25 años mayor que Pauli). Cursó su carrera médica en la misma ciudad y en 1907, ya graduado, se trasladó a Viena para unirse al grupo de Sigmund Freud; abandonó la clínica de Viena en 1909 y se estableció en Kusnacht-Zurich como psicoterapeuta. En 1913 rompió con el movimiento freudiano y creó la psicología analítica. Hacia 1917 comenzó su investigación en el problema de los tipos y sus relaciones con el proceso de individuación, que habría de proseguir el resto de su vida. Sus viajes por casi todo el mundo a lo largo de la década de 1930 (Estados Unidos, India, África), en busca de ejemplos que sustentaran sus teorías, contribuyeron en la siguiente década a la publicación de



una serie de libros, que van desde *El espíritu de la psicología* (1946) a *Flying saucers. A modern myth of things seen in the sky* (1958) pasando por *Roots of consciousness* (1954) y su libro en colaboración con Pauli, *The interpretation of nature and psyche* (1955). Murió en 1961.

Es conveniente conocer cómo se inició la relación epistolar entre estos dos científicos. En 1932 Pauli, con problemas psicológicos (alcoholismo, agresividad, etcétera), derivados quizás de problemas familiares intensos (su madre se había envenenado y su fugaz matrimonio con una bailarina había fracasado), buscó la ayuda de Jung. Éste lo remitió a la Dra. Erna Rosembaum y no lo tomó por sí mismo como paciente, aunque supervisó alrededor de cuatrocientos sueños de Pauli, de los más de mil trescientos que el físico había transcrito para la Dra. Rosembaum. De esta manera, escribió Jung, "podría llevar a cabo un experimento interesante, obtener ese material absolutamente puro, sin ninguna influencia de mi parte y por lo mismo no lo tocaré" (posteriormente presentó dicho experimento en una de sus conferencias, con el permiso de Pauli, manteniendo anónima la personalidad del paciente).

La relación epistolar, que al principio se limitaba a fijar fechas para entrevistas, se fue haciendo más interesante. Jung daba sus puntos de vista sobre la naturaleza y Pauli, sobre la mente, y como las cartas nunca pensaron fueran públicas, aventuraban juicios y puntos de vista sorprendentes. Jung, por ejemplo, escribió:

Esto nos obliga a abandonar, en el plano de las magnitudes atómicas, la descripción causal de la naturaleza en el sistema ordinario espacio-tiempo y en su lugar establecer campos invisibles de probabilidad en espacios multidimensionales.

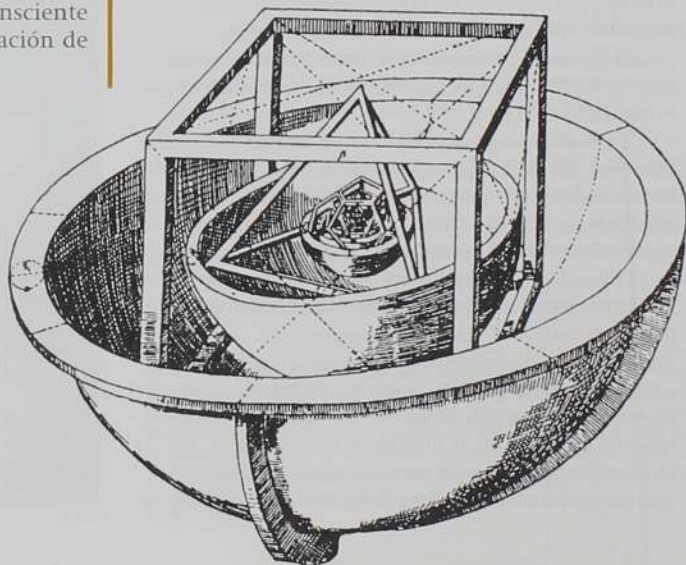
Pauli a su vez le comunicó a Jung:

La división y reducción de simetría, ¡esto es el núcleo de lo brutal! Lo anterior es un antiguo atributo del diablo... ¡si solamente los dos contendientes divinos—Cristo y el Diablo—pudieran darse cuenta de que se han desarrollado tan simétricamente!²

De estas elucubraciones (algunas veces disparatadas) comenzaron a surgir analogías entre la física y la psicología, dos campos de investigación que parecieran no tener puntos de contacto, pues, mientras la primera busca los hechos, *lo objetivo*, lo fundamental y universal confirmado por observaciones y mediciones de lo real a través de experimentos, la segunda, con normas y anomalías en sus dinámicas, descripciones y diagnósticos, atiende primeramente la *experiencia subjetiva* y la aprehensión individual. En sus cartas, Pauli y Jung fueron moviendo las demarcaciones de lo conocido y lo desconocido cruzando líneas de separación dentro y más allá de sus disciplinas, tratando de encontrar conexiones (*links*) entre lo observable y lo desconocido. Finalmente, en 1952 publicaron juntos *The interpretation of nature and the psyche* (Bollinger Series 51, New York-Pantheon). El libro constituye un claro exponente de este esfuerzo de unificación interpretativa entre ambos campos; esfuerzo encomiable, debe reconocerse, en el que, creo, Pauli lleva la mejor y la mayor parte.

Aparte de la interpretación de los sueños y su relación con los mitos, la alquimia y los símbolos, dos problemas preocupan a Jung: los *arquetipos* y la *sincronicidad*. Busca respuestas en la física, en cuestiones relacionadas con el núcleo de los átomos y su radiactividad; con la simetría de las leyes de la

Carl Gustav Jung fue seguidor de Freud pero terminó rompiendo con sus ideas. Creó la psicología analítica, postuló el concepto de consciente colectivo y dedicó su vida a la investigación de los procesos de individuación.



Pauli buscó la ayuda de Jung para resolver sus problemas psicológicos y de alcoholismo. Aunque no lo trató directamente, Jung supervisó alrededor de 400 sueños, de los más de mil 300 que el físico había transcrito para la Dra. Rosembaum, encargada de su rehabilitación. De esta manera, escribió Jung, "podría llevar a cabo un experimento interesante, obtener ese material absolutamente puro, sin ninguna influencia de mi parte".

naturaleza, la epistemología de la mecánica cuántica y el papel del observador en el proceso de la medición. Hay casi en todas las cartas un esfuerzo genuino por entender y hacer compatibles los problemas de uno (sobre todo los de Jung) en el marco de referencia del otro. Por ejemplo, la correspondencia que Pauli establece entre probabilidad y arquetipo (que Jung acepta de buen grado) y la forma de entender la sincronicidad como cierta correspondencia significativa pero acausal:

Aunque exista un factor ordenador en la sincronicidad que pudiera considerarse como causa, no puede ser concebido en el espacio-tiempo y "así como en la microfísica es imposible aplicar el principio de causalidad y la clasificación de los fenómenos en el espacio-tiempo, los fenómenos sincronísticos deben considerarse acausales (L37P, p. 28).

Además, Pauli hace referencia al ensayo de Schopenhauer, *Transzendente Spekulation* (en el diseño aparente del destino individual), donde se postula la íntima unión de la necesidad y el azar, que aparece como una fuerza que une entre sí todas las cosas, aun aquellas que se encuentran casualmente desconectadas.

Como se asentó anteriormente, son dos los temas recurrentes en Jung: arquetipos y sincronicidad. Se considera arquetipo un factor abstracto predeterminado de la vida psíquica, representativo en cierto aspecto de los instintos, que se manifiesta en cualquier tiempo y lugar, de idéntica manera, en lo que se conoce como imágenes arquetípicas o patrones arquetípicos de comportamiento (en *Lexicon of terms* de la obra que comentamos, p. XVII). Sincronicidad, término acuñado por Jung y sobre el cual frecuentemente discrepa con Pauli, pretende agrupar los fenómenos que coinciden en tiempo y espacio para los que no existe explicación causal, aunque exista entre ellos una clara conexión significativa.

Jung intenta trasladar la situación epistemológica de la física a la psicología, ya que todo parece indicar la íntima fusión de esta última con la experiencia científica de los procesos en el mundo material de la física, en especial de la física cuántica. Es en este dominio donde Pauli se muestra verdaderamente fuerte y, en ocasiones, rectifica lo que considera inexactitudes o malas interpretaciones de Jung. Así, después de que Pauli establece cierta analogía entre sincronicidad y radiactividad, Jung intenta establecer un análogo entre la radiactividad, el campo electromagnético y los

arquetipos, especulando que "ellos representan un campo de fuerza que puede ser comparado con la radiactividad". Pauli contesta, casi enojado (L45P, p. 57): "tales sentencias difícilmente podrán ser entendidas por ningún físico que jamás compararía un campo de fuerza con radiactividad" y luego explica:

El concepto físico de campo de fuerza está originalmente basado en la idea de un estado de tensión del "éter" que penetra todo el espacio. Este estado es el medio de los efectos ponderomotrices entre los cuerpos. [...] Más tarde el estado de tensión concreto y determinista, así como el medio, fue abandonado a favor del punto de vista abstracto de que este estado físico relevante se describe en términos matemáticos por funciones continuas apropiadas del espacio-tiempo (coordenadas) evitando imágenes descriptivas. Entonces es la tarea de la "Física del Campo" establecer las leyes que satisfacen estas funciones y que pueden ponerse en evidencia experimentalmente (al menos en teoría).

Finalmente Pauli concluye: *I myself have a few ideas about the analogies of this physical field theory with the psychological notion of un conscious.* (No tengo conocimiento de que estas ideas hayan sido publicadas.) Lo esencial de la radiactividad es la transmutación.

En una carta anterior (L34P, p. 41), y en referencia a la radiactividad, había escrito:

El fenómeno físico de la radiactividad consiste en la transición del núcleo atómico de la sustancia activa de un estado inestable previo a su estado estable final (en uno o varios pasos), en el curso de los cuales la radiactividad finalmente se detiene. Similarmente el fenómeno sincronístico, en una base arquetípica, acompaña la transición desde un estado inestable de conciencia a un nuevo estado estable en equilibrio con el inconsciente, una posición en la cual la frontera "sincronística" (fenómeno) ha desaparecido de nuevo.

Refiriéndose al concepto de tiempo, alude al hecho de que la cantidad de sustancia radiactiva (medida al pesarla) puede ser usada como reloj. Dos intervalos de tiempo pueden definirse como iguales cuando se desintegra la misma fracción de los átomos existentes. Pero esto hace que las leyes estadísticas, como ley de la naturaleza, entren en juego: siempre existen fluctuaciones alrededor de un valor promedio, que son relativamente pequeñas cuando la selección de átomos activos es suficientemente grande: el reloj radiactivo es

A la idea de la física clásica como descripción de los hechos objetivos y sin vínculo entre estos hechos y el observador (objetifiabilidad), Pauli contrapuso la idea de la microfísica moderna, que transforma de nuevo al observador en un pequeño señor (Lord) de la creación en su microcosmos, con la posibilidad parcial (ability) de libertad de elección y con efectos fundamentalmente no controlables en lo que observa.

un fenómeno colectivo típico, ya que con un solo átomo no se puede determinar una ley de la naturaleza.

Todo esto requiere una nueva epistemología que considere las manifestaciones (*ocurrencias*) y el uso de posibilidades, las cuales no pueden ser concebidas (*apprehended*) como predeterminadas existentes independientemente del observador. Este es el tipo de interpretación característico de la física cuántica que choca con la vieja ontología que simplemente afirma que la física es la descripción de la realidad (Einstein), sustituyéndola por la interpretación de Pauli: "La física es la descripción de lo que uno simplemente ha construido como imagen de la realidad" (L58P, p. 92).

Ser y no ser no expresan caracterizaciones inequívocas de aspectos que sólo pueden ser verificados mediante series estadísticas de experimentos con diferentes arreglos experimentales (preparaciones), que en ciertas circunstancias son mutuamente excluyentes.

Resulta interesante analizar la forma en que Pauli enfatiza esos aspectos, no sólo en esta carta sino en otras anteriores, y cómo trata de relacionarlos con aspectos de la dualidad *physics* y *psyche* que preocupan a Jung.

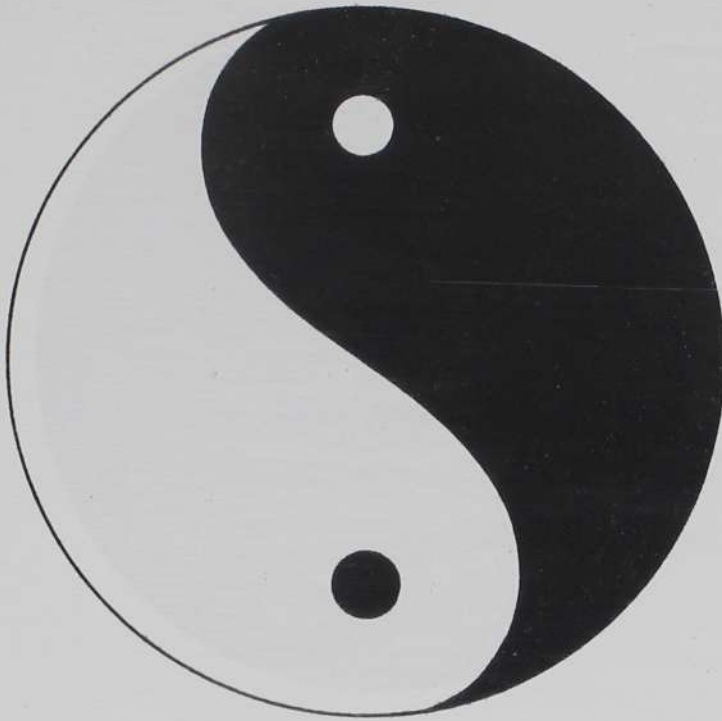
Por ejemplo, al intervenir como patrono del Instituto Jung en 1947 (p.32) Pauli ya manifiesta la conveniencia de "trasladar la situación epistemológica de la física a la psicología, ya que todo parece indicar la fusión íntima de la psicología con la experiencia científica de los procesos en el mundo material de la física". En un ensayo inédito, de 1948, recalca:

La antigua idea de polaridad de los opuestos Yang y Yin chinos se reemplaza en el pensamiento moderno por la idea de complementariedad: aspectos mutuamente excluyentes de los fenómenos y uno de los más importantes trabajos en Psicología sería trasladar estas ideas en una nueva forma de esta disciplina. La complementariedad física tendría un análogo muy cercano en los términos consciente e inconsciente de la Psicología y cualquier observación del contenido del inconsciente implica repercusiones fundamentales indefinibles en el contenido consciente (Apend. 3, p. 179).

Un ego totalmente consciente (invocado en la filosofía oriental –y probablemente con la justificación– sólo posible en instante de morir) y de otra parte una psique objetiva, no observada por un consciente subjetivo (y por tanto influenciada por éste) corresponden a dos casos límite que no pueden lograrse en la realidad (p. 185).

Pero, regresando a su concepción de la ciencia actual, en la L58P se contraponen los conceptos del *ser* y el *no-ser* de Platón y Aristóteles y la diferencia entre la *privatio de ideas* a la *privatio de forma*. En ese sentido Pauli remarca:

[...] la ciencia ha llegado a un estadio donde podemos proceder en la trayectoria señalada por Aristóteles (aunque manifiesta de una manera no muy clara). Las características complementarias del electrón (y del átomo), la onda partícula, son de hecho *ser en potencia*, pero uno de ellos es siempre *no ser actual*. Así es cómo uno puede decir que la ciencia, al no ser más clásica, es una teoría



genuina del devenir (becoming) y no más platónica. Lo que está de acuerdo con el hecho de que el hombre que para mí (Pauli) es el más representativo de la Física Moderna, Mr. Bohr, es el único pensador verdaderamente no Platónico, el cual me enseñó que cualquier filosofía verdadera debe comenzar con una paradoja: él era un maestro del pensamiento antinómico.

Ya introducidos en la complementariedad, Jung no se queda atrás y trata de analizar la dualidad de conceptos espiritualismo-materialismo (L59J, p.97 ss.) diciendo:

[Estos conceptos] sólo son admisibles como elementos necesarios de percepción, es decir en el etiquetado de categorías de ideas tales como lo que es de origen mental (espiritual) y lo que tiene origen físico (material). El juicio metafísico siempre sitúa un elemento de lo psíquico en un lugar externo, impidiendo una unión de Idea y Materia. Solamente en un tercer medio puede tener lugar la unión de ambas esferas, ya despojadas de su (en y por sí mismo) ser y adaptadas a este tercer medio: este es la psique del observador. En ninguna otra parte si no es en la psique del individuo puede completarse esta unión, experimentar y percibirse: la psique como medio, participa de ambos aspectos Espiritual y Material.

Estoy convencido que ella (la psique), es parcialmente de naturaleza material. Los arquetipos por ejemplo, por un lado son ideas (en el sentido platónico) y sin embargo están directamente conectados con los procesos fisiológicos por el otro y en el caso de la sincronicidad,

son promotores de circunstancias físicas; la totalidad del hombre mantiene esta posición intermedia entre el mundus archetypus que es real porque actúa y la Physis que es real, porque también actúa.

Resulta interesante considerar cómo estos dos personajes tratan de superar el enfoque dialéctico hegeliano, quizás demasiado maniqueo, con la complementariedad, que maneja los aspectos excluyentes de los fenómenos, sin llevarlos a las condiciones extremas (relaciones de incertidumbre) y coexistiendo como *ser en potencia* y *ser actual*.

En esta correspondencia, el desprecio que tiene Pauli por la física clásica es permanente y manifiesta; llega a extremos de descalificación personal de colegas por considerarlos excesivamente ligados a ésta. Así lamenta (L50P, p.71) la excesiva atención de Jung al matemático A. Speiser (bien conocido en teoría de grupos) por considerar sus ideas *out of date* y, sobre todo, por tener puntos de vista como éste: "El estado inicial que no está determinado por la sola ley, evoluciona en el tiempo completamente de acuerdo a la ley", lo que considera casi una herejía, dada su postura clásica.

A la idea de la física clásica como descripción de los hechos objetivos, hasta el extremo de no existir ningún vínculo entre estos hechos y el observador (*objetifiabilidad*), es decir, de los fenómenos independientemente de la manera cómo son observados, Pauli contrapone la idea de la microfísica



moderna (L33P, p. 32), que transforma de nuevo al observador en un pequeño señor (*lord*) de la creación en su microcosmos, con la posibilidad parcial (*ability*) de libertad de elección y con efectos fundamentalmente no controlables en lo que observa.

Y argumenta que si estos fenómenos son dependientes en *cómo* (con qué sistema experimental) son observados, entonces ¿no sería posible que existan también fenómenos (*extra corpus*) que dependan en quién los observe, en la naturaleza de la *psyche* del observador? Y si la ciencia natural, al perseguir el ideal determinista desde Newton, ha llegado al estadio fundamental del *quizás*, de la naturaleza estadística de las leyes naturales, ¿no habría lugar para las cosas extrañas que, en última instancia, impiden la distinción entre *physics* y *psyche* (del mismo tipo de distinción entre física y química)?

La erudición y la familiaridad con las lenguas clásicas son manifestas en esta correspondencia; también su conocimiento de las religiones y filosofías orientales, todo lo cual hace que el lector, no tan versado en estos saberes, se sienta desarmado, pero no olvidemos que los autores nunca imaginaron que sus cartas algún día se harían públicas.

Esbozos teológicos

La referencia a cuestiones teológicas, a la presencia en los sueños de figuras identificables con el diablo o figuras de carácter numinoso, da pie a los

corresponsales para extenderse larga y continuamente, en consideraciones relativas a la alquimia, al folclore, la mitología, etcétera.

Así, Jung (L59J, pp. Q7-98) establece una conexión directa entre el *ánima obscura*, que representa la parte femenina de la *psyche* del hombre, con el dogma de la asunción de la virgen María y no duda en considerarlo como una concesión al diablo porque exalta lo femenino, que está relacionado con éste y, en segundo lugar, porque la asunción del cuerpo significa la asunción de la materia ¡Huelgan comentarios!

Al comentar el libro de Jung, *Aion, Untersuchungen zur Symbolgeschichte*, Pauli ofrece una cándida confesión de sus creencias religiosas (L55P, pp.74-81). Declara que en materia de religión y filosofía se inclina hacia Lao-Tse y Schopenhauer, y extiende el determinismo condicionado de este último a la idea de complementariedad de pares y el factor acausal. Afirma que se siente extraño a la religiosidad cristiana,³ pues lo deja -confiesa- "emocional e intelectualmente en el limbo". Y prosigue: "No tengo resistencia emocional a la idea de un tirano no predecible como Yabeh, pero la excesiva arbitrariedad del Cosmos, implícita en esta idea me choca como antropomorfismo insostenible desde el punto de vista de la filosofía natural" (sic). Para Pauli, todo es aceptable excepto la falta de simetría; de aquí su decepción cuando comenzaron, en 1956, a demostrarse las rupturas de simetrías en los procesos nucleares.

En una carta a Pauli, Jung escribió: "Estoy convencido que la psique es parcialmente de naturaleza material. Los arquetipos por ejemplo, por un lado son ideas (en el sentido platónico) y sin embargo están directamente conectados con los procesos fisiológicos por el otro y en el caso de la sincronización, son promotores de circunstancias físicas; la totalidad del hombre mantiene esta posición intermedia entre el mundus archetypus que es real porque actúa y la Physis que es real, porque también actúa".

De Lao-Tse, aceptando que resulta extraño a la mentalidad occidental, le atrae su imagen del mundo, donde el mal no existe. El análisis del problema del mal lo lleva a rechazar la idea de una conciencia parecida a la humana en Dios. Le parece más aceptable la idea gnóstica de un "unknowing God" al que no se puede responsabilizar de la presencia del mal. Esta contradicción con su preferencia por la filosofía de Lao-Tse, se refuerza en una declaración, al final de sus años, a Quispel, en el sentido de que un Dios con conciencia no podía soportar todo el mal y el dolor de la humanidad. (Sus angustias cósmicas y teológicas no andan muy lejos de las de San Agustín, aunque las ignore.)

Un comentario final. Como se mencionó anteriormente, esta larga correspondencia de 26 años tuvo lugar en los momentos más aciagos de la historia europea y, nos atrevemos a pensar, universal: persecución y exterminio de razas y pueblos; invención de artefactos de destrucción masiva, división del mundo en los bloques antagónicos dispuestos a la aniquilación mutua y, sin embargo, ni una mención explícita de los mismos en las más de ochenta cartas cruzadas entre estos dos personajes.

Existe sólo un comentario oblicuo y lateral de Pauli en una de sus misivas anteriores a su viaje a Princeton, en la que indica que si la velocidad de los burócratas que expiden los pasaportes (L31P, p. 28) no supera la del incremento de la guerra en el Mediterráneo, corre el riesgo de no poder salir de Suiza. En cuanto a los nazis, un único comentario lo hace relatando un romántico reencuentro con una conocida de Hamburgo, lugar donde pasó sus años de joven profesor en la universidad, misma que entonces, en 1955, lo invitaba como conferencista (L69P, p. 151).

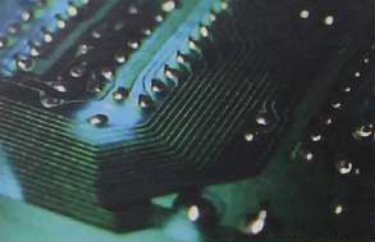
Ni campos de concentración, ni holocausto, ni Hiroshima, ni las perspectivas de una guerra nuclear. ¿Fue una decisión previa entre los corresponsales no mencionar estos asuntos? o fue insensibilidad? Porque ignorancia no cabe en ninguno de los dos ni antes, ni durante, ni después de la guerra. Además, Pauli había rechazado participar en el Proyecto Manhattan, con el que se construyó la primera bomba atómica. No eran personas ajenas a los hechos de su tiempo y por lo menos yo (el que esto escribe), no soy capaz de entender o concebir qué razones tuvieron para ignorarlos casi totalmente: ¿soberbia?, ¿frustración?, ¿asco? ●

[Notas]

¹ Las notaciones como L38P, p. 42 o como L39J, p. 45 indican el número de la carta (L) en esta colección, el emisor J (Jung) o P (Pauli) y la página correspondiente.

² Fragmentos tomados de la introducción de B. Zabriskie (*Atom and Archetype*, p. XXIX).

³ Pauli, de origen judío, había sido bautizado católico. Su padre, Wolfan Pascheles, distinguido químico y profesor de la Universidad de Viena, se había convertido al cristianismo y adoptó el apellido Pauli. El padrino de bautismo fue el célebre físico Ernst Mach.



Cinvestav Posgrados

CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

FÍSICA

Maestría: Admisiones en mayo

Doctorado: Admisiones todo el año

www.fid.cinvestav.mx/

FÍSICA APLICADA (Unidad Mérida)

Especialidades en Física Aplicada, Físicoquímica y Física Teórica

Maestría: Admisión: enero y julio

Doctorado: Admisión todo el año

www.mda.cinvestav.mx/fa01.htm

MATEMÁTICAS

Especialidad en Matemáticas básicas y Matemáticas Computacionales

Maestría: Admisiones todo el año

Doctorado: Admisiones todo el año

www.math.cinvestav.mx/

QUÍMICA

Doctorado Directo: Admisiones en mayo

Inicio del programa: septiembre

www.cinvestav.mx/quimica/

TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

COMPUTACIÓN

Maestría y Doctorado

Exámenes de Admisión en julio

www.cs.cinvestav.mx/

COMPUTACIÓN (Unidad Tamaulipas)

Maestría y Doctorado

Registro de aspirantes hasta julio de cada año

www.cinvestav.mx/tamaulipas/

CONTROL AUTOMÁTICO

Maestría: Admisiones en julio

Doctorado: Admisiones en agosto y noviembre

www.ctrl.cinvestav.mx/

INGENIERÍA CERÁMICA (Unidad Saltillo)

Maestría y Doctorado

Recepción de documentos en julio

www.cinvestav.edu.mx/salttillo/

INGENIERÍA METALÚRGICA (Unidad Saltillo)

Maestría y Doctorado

Recepción de documentos en julio

www.cinvestav.edu.mx/salttillo/

INGENIERÍA ELÉCTRICA (Unidad Guadalajara)

Especialidad en Ciencias de la Computación, Control Automático, Diseño Electrónico, Sistemas Eléctricos de Potencia y Telecomunicaciones

Maestría: Examen de admisión en julio

Doctorado: Abierto todo el año

www.gdl.cinvestav.mx/

INGENIERÍA ELÉCTRICA

Especialidad en Bioelectrónica

Maestría: Exámenes de admisión y entrevista en julio

Doctorado: Recepción de documentos todo el año

www.ie.cinvestav.mx/

Especialidad en Comunicaciones

Maestría y Doctorado

Inscripciones de febrero a abril

www.ie.cinvestav.mx/

Especialidad en Electrónica del Estado Sólido

Maestría: Solicitudes en enero y mayo

www.ie.cinvestav.mx/

Especialidad en Mecatrónica

Maestría: admisión: julio

Doctorado: Admisión todo el año

www.ie.cinvestav.mx/

Especialidad en Robótica, Sistemas Inmersos y Manufactura Moderna (Unidad Saltillo)

Maestría y Doctorado

Propedéutico: 3 1 14 de julio

www.ie.cinvestav.mx/

INGENIERÍA Y FÍSICA BIOMÉDICAS (Unidad Monterrey)

Maestría: Exámenes de admisión en julio y agosto

www.cinvestav.mx/mt/index.html

MATERIALES (Unidad Querétaro)

Maestría: Admisiones en la cuarta semana de mayo

Doctorado: Examen y entrevista en junio

www.qro.cinvestav.mx/

CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD

BIOLÓGICA CELULAR

Maestría: Inscripciones en febrero
Doctorado: Admisiones todo el año
www.cell.cinvestav.mx/

BIOMEDICINA MOLECULAR

Maestría: Inscripciones: marzo y septiembre
Doctorado: Admisiones mayo, junio y noviembre
www.cinvestav.mx/biomedic.html

BIOQUÍMICA

Maestría: Inscripciones en junio
Doctorado: Inscripciones abril a junio
www.biochem.cinvestav.mx/

BIOTECNOLOGÍA Y BIOINGENIERÍA

Maestría: Admisiones en mayo
Doctorado: Admisiones todo el año
www.cinvestav.mx/biotech/

BIOTECNOLOGÍA Y BIOQUÍMICA (Unidad Irapuato)

Maestría y Doctorado
Examen de admisión en enero y julio
www.ira.cinvestav.mx/

FARMACOBIOLOGÍA (Sede Sur)

Maestría y Doctorado
Examen de Admisión en junio
www.cinvestav.mx/farmacobiologia/fechas.html

FARMACOLOGÍA

Maestría: Entrevistas: junio
Doctorado: Entrevistas e inscripciones todo el año
www.cinvestav.mx/farmacologia/

FISIOLÓGICA, BIOFÍSICA Y NEUROCIENCIAS

Especialidades en Neurobiología
Fisiología Celular y Molecular
Maestría: Entrevistas en junio
Doctorado: Entrevistas e inscripciones todo el año
www.fisio.cinvestav.mx

GENÉTICA Y BIOLOGÍA MOLECULAR

Maestría: solicitudes de mayo y junio
Doctorado: solicitudes de agosto y septiembre
www.cinvestav.mx/genetica/framearriba.htm

INGENIERÍA GENÉTICA (Unidad Irapuato)

Maestría: Examen de admisión en julio
Doctorado: Examen de admisión en julio
www.ira.cinvestav.mx/

IMUNOLOGÍA EXPERIMENTAL

Maestría: Admisiones en junio
Doctorado: Entrevistas e inscripciones todo el año

Excelencia en Investigación y Posgrado



Cinvestav
aniversario

1961-2006
45

RECURSOS DEL MAR (Unidad Mérida)

Maestría: Admisiones en junio
Doctorado: Ingreso en septiembre y enero
www.mda.cinvestav.mx/rm01.htm

TOXICOLOGÍA

Maestría: Examen de admisión y entrevistas en junio
Doctorado: Entrevistas e inscripciones todo el año
www.cinvestav.mx/toxicologia/

CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES

ECOLOGÍA HUMANA

Maestría: Entrevistas en julio
www.mda.cinvestav.mx/eh01.htm

EDUCACIÓN EN CIENCIAS (Unidad Monterrey)

Maestría: Exámenes de admisión en julio y agosto
www.cinvestav.mx/mty/index.html

INVESTIGACIONES EDUCATIVAS (Sede Sur)

Maestría: Inscripciones de febrero a marzo
Doctorado: Inscripciones marzo y abril
www.cinvestav.mx/die/

MATEMÁTICA EDUCATIVA

Maestría: Exámenes y entrevistas en mayo
Doctorado: Admisión en agosto y noviembre
www.matedu.cinvestav.mx/



Amibas de vida libre como organismos patógenos en el humano

LAS AMIBAS DE VIDA LIBRE TIENEN LA CAPACIDAD DE COMPLETAR SU CICLO DE VIDA EN LA NATURALEZA SIN NECESIDAD DE UN HOSPEDERO INTERMEDIARIO PARA SU SUPERVIVENCIA, TRANSMISIÓN O DISEMINACIÓN; NO OBSTANTE, TAMBIÉN PUEDEN COMPORTARSE COMO ORGANISMOS PARÁSITOS, TANTO DEL HUMANO COMO DE OTROS MAMÍFEROS, POR LO QUE ACTUALMENTE SE CONSIDERAN ORGANISMOS ANFIZOICOS.

Mineko Shibayama Salas e Isaac Cervantes-Sandoval

Si tomamos una gota de rocío o de agua estancada y la observamos al microscopio, veremos una gran variedad de microorganismos pertenecientes a diversos grupos taxonómicos. Entre éstos se encuentran microorganismos que tienen la capacidad de completar su ciclo de vida en la naturaleza sin necesidad de un hospedero intermediario para su supervivencia, transmisión o diseminación. Las amibas de vida libre forman parte de este grupo y, hasta hace algunos años, su estudio se concentraba básicamente en la importancia ecológica que tienen, pues sabemos que juegan un papel importante en el control de poblaciones bacterianas. Sin embargo, hace ya algunas décadas se descubrió que ciertas especies de estas amibas, como *Naegleria fowleri* y varias especies de *Acanthamoeba* y *Balamuthia mandrillaris*, pueden comportarse como organismos parásitos, tanto del humano como de otros mamíferos, por lo que actualmente se consideran organismos anfizoicos. En nuestro laboratorio estamos interesados en estudiar los

mecanismos de patogenicidad que puedan presentar estos protozoarios, así como las respuestas inmunitarias que despliega el huésped en contra de estas infecciones. Para lograr nuestros objetivos utilizamos diferentes modelos experimentales, tanto *in vivo* como *in vitro*, con la intención de reproducir las infecciones tal como ocurren en el humano. En este artículo se revisan algunos aspectos básicos de la biología de las amibas de vida libre, con énfasis en la relación hospedero-parásito, y se comentan trabajos sobre la patogenia que se realizan en el laboratorio.

Naegleria fowleri y la meningoencefalitis amibiana primaria

Las amibas del género *Naegleria* forman parte de la familia *Vahlkampfiidae*, la cual consta de poco más de treinta especies, algunas de las cuales se han identificado como posibles patógenas para diferentes animales, pero sólo *N. fowleri* se ha encontrado parasitando al humano. Este protozoario produce una

MINEKO SHIBAYAMA SALAS Se graduó como químico bacteriólogo y parasitólogo en la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (IPN, 1985). Es maestra y doctora en Ciencias por el Departamento de Patología Experimental (Cinvestav, 1993 y 1998). Perteneció al Sistema Nacional de Investigadores (nivel 1). Actualmente se desempeña como Investigadora Titular 3C en el Departamento de Patología Experimental (Cinvestav-IPN), y es codirectora del programa Domingos en la Ciencia (Academia Mexicana de Ciencias). Entre sus temas de investigación figuran los siguientes: caracterización de modelos experimentales *in vivo* para el estudio de la patogénesis en la amibiasis experimental por *Entamoeba histolytica*, inmunopatología y ultraestructura. Amibas de vida libre: *Naegleria fowleri*, *Acanthamoeba* spp. Hepatitis B y C. Realizó su estancia sabática en el Hospital de la Universidad de Fukuoka, Japón (2004-2005). Tiene 33

publicaciones con arbitraje estricto, seis capítulos de libros, 24 resúmenes en extenso, 103 participaciones en congresos y una patente; en programas de posgrado ha dirigido una tesis de doctorado y seis de maestría. mineko@cinvestav.mx

ISAAC CERVANTES SANDOVAL Biólogo egresado de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (IPN, 2004). En la misma institución obtuvo el grado de maestro en Ciencias Químico-Biológicas (2006) y actualmente se dedica a su doctorado. Su tema de investigación es inmunopatología de infecciones producidas por amibas de vida libre (*Naegleria fowleri*, *Acanthamoeba* spp). cervantessi@yahoo.com.mx

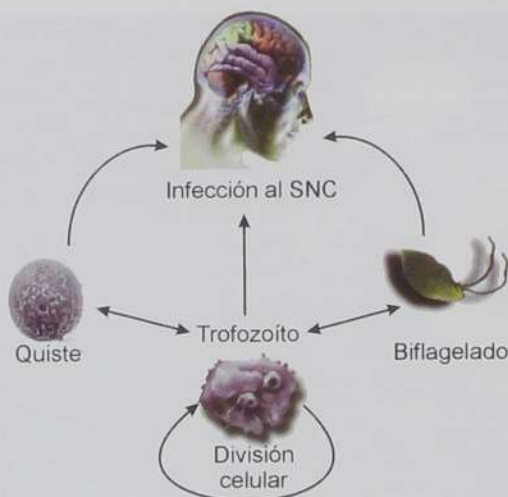


Microscopia electrónica de barrido de un trofozoito de *N. fowleri* que muestra la presencia de bocas fagocíticas.

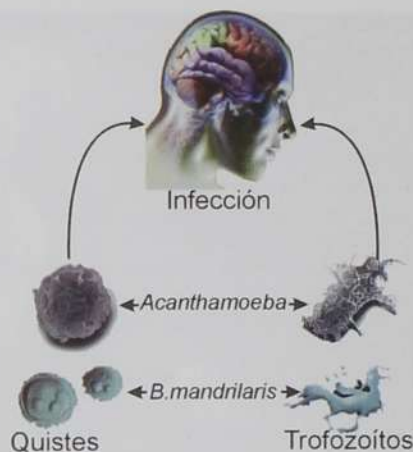
infección al sistema nervioso central, conocida como meningoencefalitis amibiana primaria (MAP). *N. fowleri* es un ameboflagelado que crece normalmente en climas tropicales o subtropicales e incrementa su población en los meses más cálidos del año. Su ciclo de vida consta de tres estadios: trofozoito (la forma vegetativa o invasiva), flagelado y quiste. Durante la fase de trofozoito se lleva a cabo la división celular y la captación de nutrientes. La división celular es promitótica, es decir, se conserva la membrana nuclear durante la cariocinesis. Como organismo de vida libre, el trofozoito se alimenta principalmente de bacterias. Cuando se encuentra con carencia de nutrientes, toma la forma flagelada y pierde la capacidad de dividirse. Se considera que este estadio le permite dispersarse hacia ambientes con condiciones favorables para su crecimiento. Por último, *N. fowleri* también tiene la capacidad de diferenciarse hacia una forma de resistencia denominada quiste. Esta etapa se alcanza cuando las amibas se encuentran en condiciones adversas, como baja humedad o ausencia de nutrientes, y pueden permanecer viables en la

naturaleza por largos periodos. En el laboratorio se ha logrado inducir la infección en ratones inoculando flagelados o quistes por vía intranasal. Es probable que, una vez que se encuentran en la mucosa del epitelio olfatorio, éstos se diferencien rápidamente a la forma de trofozoito, pues nunca se ha observado la presencia de flagelados y quistes en los tejidos o muestras de líquido cefalorraquídeo de pacientes o animales de laboratorio, únicamente el trofozoito.

La mayoría de los casos de MAP han ocurrido después de realizar actividades acuáticas recreativas en cuerpos de agua donde se localiza el parásito. Esta patología se presenta normalmente en jóvenes o niños aparentemente sanos. Su vía de entrada es a través de las fosas nasales, invade los nervios olfatorios, atraviesa la placa cribosa y se instala en los bulbos olfatorios; esto da lugar a una encefalitis aguda y fulminante que frecuentemente lleva a la muerte, entre 3 y 10 días después de la aparición de los primeros síntomas. Hasta el momento se han reportado más de 200 casos de MAP en el mundo, más de 30 en nuestro país, y un escaso número de personas



Ciclo de vida de *N. fowleri*.



Ciclo de vida de *Acanthamoeba* spp y *B. mandrillaris*.

recuperadas, menos de 10. Además de la rapidez con que ocurre la infección, la alta mortalidad de la MAP se atribuye a la falta del conocimiento de la comunidad médica sobre esta infección, lo que conduce a diagnósticos errados y, por ende, a tratamientos ineficientes dirigidos a meningitis producidas por bacterias o virus, que son las más comunes.

La presencia de síntomas de meningitis asociados con antecedentes de natación deben alertar a los médicos de una posible infección por *N. fowleri*. Para un diagnóstico acertado de MAP se debe tomar, a la brevedad, una muestra de líquido cefalorraquídeo y analizarla al microscopio; deben observarse formas ameboideas con movimiento. Para un diagnóstico definitivo, el sedimento de la muestra se coloca en un amortiguador no nutritivo y después de un par de horas debe observarse la presencia de organismos biflagelados. También se puede cultivar una muestra de este sedimento en un medio nutritivo llamado bactocasitona. El crecimiento del parásito en el cultivo es rápido y confirma el diagnóstico.

Recientemente se han desarrollado técnicas moleculares para la identificación rápida y sensitiva de este parásito; son tan sensibles que pueden detectar hasta cuatro amibas en una reacción en cadena de la polimerasa (PCR) en tiempo real. Por ahora no existe un tratamiento específico de la MAP, sin embargo, en todos los casos de recuperación se ha utilizado anfotericina B, ya sea sólo o combinado con otros antibióticos, administrados por vía intracaneal o intravenosa.

En un intento por comprender los aspectos básicos de la patogénesis de la MAP, utilizando ratones de la cepa Balb/c como modelo animal, en el laboratorio hemos analizado los eventos histopatológicos que conducen a la infección cerebral. Para reproducir la infección en ratones, los trofozoitos son inoculados por

vía nasal. Desde los primeros tiempos de interacción se puede observar la presencia de amibas en la cavidad nasal rodeadas de moco y algunas células inflamatorias, principalmente leucocitos polimorfonucleares. Sin embargo, este primer intento de defensa contra la infección es aparentemente ineficaz, ya que en tiempos posteriores de interacción se pueden observar trofozoitos adheridos y penetrando la superficie del neuroepitelio olfatorio. Una vez que los trofozoitos han penetrado el epitelio nasal, migran a través de los nervios olfatorios, cruzan la placa cribosa hasta alcanzar los bulbos olfatorios del sistema nervioso central.

En este proceso de migración destacan al menos dos puntos importantes. Primero, los trofozoitos parecen no provocar daño temprano a los diferentes tejidos por los que van migrando, por lo que se ha sugerido que el poder histolítico de esta especie es bastante reducido, comparado al que se presenta en otro tipo de amibas patógenas, como *Entamoeba histolytica*. Este punto coincide con el hecho de que *N. fowleri* requiere hasta 16 horas para producir daño a una línea celular *in vitro*, a diferencia de *E. histolytica* que no necesita más de una hora. El segundo punto interesante es la ausencia de inflamación durante todo el proceso de invasión, la cual se le puede atribuir al carácter de órgano inmunoprivilegiado que goza el sistema nervioso central (SNC). Una vez que los trofozoitos alcanzan el SNC, comienzan a dividirse. A las 96 horas de infección principia un proceso inflamatorio con la presencia de neutrófilos, eosinófilos, macrófagos y células linfocitarias. La necrosis del tejido nervioso concuerda con la presencia del proceso inflamatorio, por lo que creemos que es el responsable del extenso daño a los tejidos y que lleva a la muerte del animal. Actualmente se están evaluando los mecanismos o factores de

virulencia que le permiten a este parásito provocar la infección, así como los mecanismos del huésped implicados en la MAP.

Acanthamoeba spp como oportunista

El género *Acanthamoeba* fue descrito por Volkonsky en 1931, pero la clasificación de especies dentro de este género aún se encuentra en revisión. Existen diversas especies de las cuales *A. castellanii*, *A. polyphaga*, y *A. culbertsoni* son las más frecuentemente asociadas con infecciones en el humano. Estas amibas se caracterizan por la presencia de proyecciones citoplasmáticas en forma de espinas, llamadas acantópodos, por lo que es relativamente fácil distinguirlas de otros géneros. Presentan un ciclo de vida con dos estadios: la forma trófica (trofozoito), que se nutre de bacterias del suelo o del agua y se divide por división binaria, y la forma quística, que es sumamente resistente a condiciones extremas. Probablemente a la presencia de este quiste tan resistente se deba la gran ubicuidad del género *Acanthamoeba*, que ha sido aislado del suelo, polvo, aire, agua natural y tratada, agua de mar, albercas, alcantarillas, sedimentos, unidades de aire acondicionado, agua de uso doméstico, plantas de tratamiento de agua potable e incluso de agua embotellada).

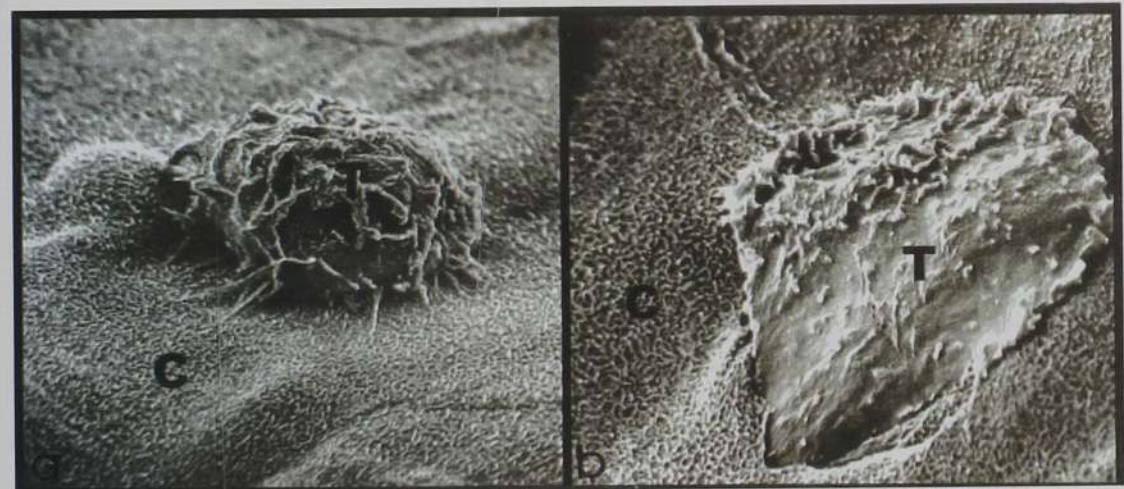
Acanthamoeba produce infecciones como microorganismo oportunista en sistema nervioso central, piel y otros órganos en pacientes inmunocomprometidos; como parásito no oportunista produce una infección en la córnea (queratitis amibiana, QA). La infección al sistema nervioso central es conocida como encefalitis amibiana granulomatosa (EAG). A diferencia de la MAP descrita anteriormente, esta meningitis es de evolución lenta o crónica y se asocia con pacientes que presentan otras patologías, como lupus eritematoso sistémico, diabetes mellitus,

deficiencia renal, cirrosis hepática, tuberculosis o SIDA. La histopatología de la EAG se caracteriza por la presencia de necrosis hemorrágica severa, trombos de fibrina e inflamación, así como edema de moderado a severo y lesiones multifocales en cerebro. El exudado inflamatorio está compuesto por células mononucleares y leucocitos polimorfonucleares. En el tejido cerebral se pueden encontrar numerosos trofozoitos.

Por otra parte, las amibas pueden diseminarse a órganos como pulmones, riñones, glándulas suprarrenales, tráquea, oído interno y tejido óseo. Las infecciones cutáneas se presentan sobre todo en pacientes con SIDA y pueden o no estar relacionadas con la EAG. Las formas cutáneas de esta enfermedad se caracterizan por la presencia de nódulos eritematosos endurecidos o por úlceras en la piel.

Queratitis amibiana

La infección más frecuente causada por amibas del género *Acanthamoeba* es la queratitis amibiana (QA) o infección de la córnea. En contraste con las otras infecciones, ésta ocurre en individuos sanos. Se ha asociado con usuarios de lentes de contacto, habiéndose observado que el número de casos incrementa conforme se propaga el uso de este tipo de lentes. Se estima que hasta el 2001 han sido reportados más de 3 mil casos en todo el mundo. Esta enfermedad se caracteriza por ser una queratitis crónica de difícil tratamiento y que puede llegar a producir ceguera. La característica más particular de la QA es la formación de un infiltrado inflamatorio en el estroma, en forma de anillo, que va desde leve a moderado. El infiltrado se compone de leucocitos polimorfonucleares y eosinófilos, que se localizan normalmente alrededor de las amibas. Se pueden observar también macrófagos, linfocitos y células plasmáticas en la córnea. Los trofozoitos pueden alcanzar



Microscopía electrónica de barrido. a) Trofozoitos de *Acanthamoeba* spp (T) con una hora de interacción con el epitelio de la córnea de hamster; se observa la adherencia amibiana a la superficie; b) en otra zona de la muestra se observa un trofozoito (T) penetrando la capa superficial del epitelio (C).



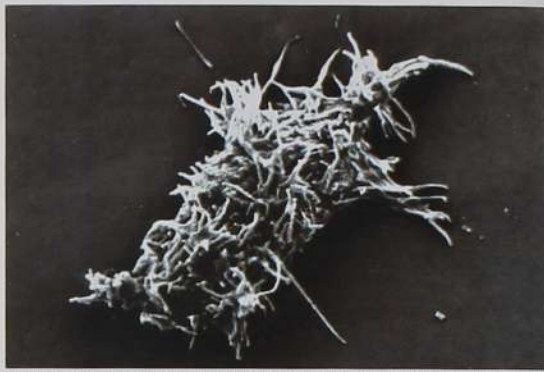
Opacidad de la córnea provocado por un infiltrado inflamatorio al estroma en un caso de QA. (Imagen obtenida en: www.ophtalmic.hyperguides.com/; Seth A., Biser MD., Perry, MD).

los nervios de la córnea y producir neuritis y necrosis. Además, en casos poco comunes las amibas pueden llegar a la retina y provocar una corioretinitis. En casos severos que no responden a ningún tratamiento médico o quirúrgico se ha requerido de la enucleación del ojo.

El diagnóstico de la QA ha resultado difícil, principalmente debido a que las características clínicas de la infección son muy similares a patologías con una mayor incidencia, como la queratitis por herpes *simplex* o queratitis por hongos. El diagnóstico se complica aún más cuando existen infecciones bacterianas secundarias. Además, nuevamente la falta de conocimiento de la QA por el personal médico y de laboratorio provoca que el diagnóstico no sea oportuno y acertado. El diagnóstico puede llevarse a cabo tomando muestras con un raspado vigoroso de la córnea con un hisopo, espátula o bisturí. El material obtenido se puede teñir con giemsa o calcofluor blanco, para posteriormente ser examinado bajo el microscopio de luz o de fluorescencia. Por otro lado, los raspados corneales pueden colocarse en placas de agar no nutritivo, enriquecido con bacterias inactivadas por calor para posteriormente observar su crecimiento.

El éxito del tratamiento de la QA depende en forma importante de su diagnóstico oportuno. Cuando esto se logra, la remoción del epitelio superficial puede ser suficiente si sólo este tejido se encuentra involucrado; este procedimiento puede eliminar al agente infeccioso y aumentar la efectividad de los medicamentos tópicos. Cuando no se obtiene un diagnóstico oportuno y acertado, el tratamiento contra la QA puede llevar varios meses e incluso años. En ocasiones, los pacientes deben continuar bajo observación después de finalizar el tratamiento, ya que comúnmente se han reportado reincidencias de la infección, tal vez por la permanencia de quistes en el tejido. La ineficacia de algunos fármacos utilizados se debe a su bajo poder de penetración y al desarrollo de resistencia a ciertas drogas por el parásito.

En el laboratorio se ha implementado un modelo organotípico para el estudio de los primeros eventos del daño a la córnea. Utilizando córneas de hámsteres



Microscopía electrónica de barrido de un trofozoito de *A. polyphaga* que muestra las proyecciones citoplasmáticas a manera de espinas alrededor de toda la superficie celular.

dorados (*Mesocricetus auratus*) se logró determinar los primeros eventos del proceso invasivo en QA. Con el uso de este modelo se observó que el primer evento importante en el proceso de invasión es la adherencia de los trofozoítos a las células superficiales de la córnea. Una vez que las amibas se adhieren, éstas migran hacia las uniones celulares y comienzan a separarlas para penetrar en las capas más profundas del epitelio. Al hacer el análisis ultraestructural de las córneas infectadas, se ha logrado observar la pérdida de las uniones intercelulares, además del daño y desorganización en las capas más profundas del epitelio corneal, lo que sugiere la participación de moléculas amibianas de secreción, capaces de producir daño a distancia o por difusión.

En este mismo modelo se cuantificó la resistencia transepitelial de la córnea y se observó que ésta disminuye al mismo tiempo que la amiba va penetrando el tejido. Esta disminución también se presenta cuando se usan extractos o productos de secreción amibiana, lo que sugiere la participación de elementos solubles en el daño tisular. Con base en lo anterior se caracterizaron posibles candidatos, como las proteasas intracelulares y de secreción de los parásitos. Así se determinó que se trata principalmente de serin proteasas con una actividad óptima a pH y temperatura fisiológicos. Estas proteasas son capaces de degradar colágena, el principal componente del estroma de la córnea, y causar daño al citoesqueleto de actina de una línea celular de tipo epitelial (MDCK).

El uso de estos modelos de experimentación que semejen la condición humana es necesario para conocer los posibles mecanismos involucrados en la patogenicidad de estas amibas, así como en la búsqueda de mejores métodos diagnósticos y terapéuticos.

Balamuthia mandrillaris

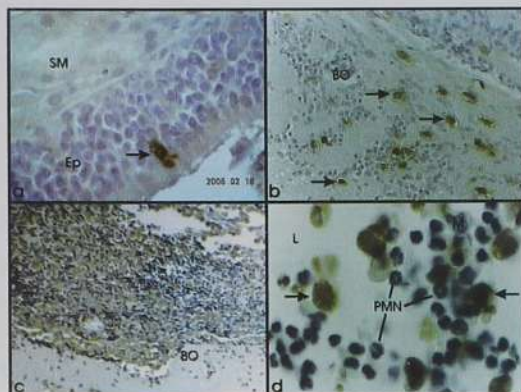
A finales de los años 80 se aisló una amiba del cerebro de un mandril que murió en el zoológico de San Diego. Una vez que se estableció el cultivo y se lograron obtener anticuerpos específicos para esta amiba, se detectaron

casos de encefalitis previos provocados por amibas no identificadas. Pronto empezaron a aparecer casos adicionales de encefalitis de tipo granulomatoso provocados por una nueva especie de amiba de vida libre del género *Balamuthia*, denominada *B. mandrillaris*. Los primeros casos de encefalitis granulomatosa por *B. mandrillaris* reportados en humanos fueron en individuos inmunocomprometidos o pacientes con SIDA. Sin embargo, en años más recientes se han identificado casos en niños aparentemente sanos. La infección que esta amiba provoca es muy similar a la encefalitis por *Acanthamoeba*. Se trata de una encefalitis crónica con lesiones necróticas y hemorrágicas que puede desarrollarse en un periodo que va de algunas semanas a dos años. Hasta el momento no está claro cuál es la posible vía de entrada de este patógeno y prácticamente se desconocen todos los eventos histopatológicos que llevan a la infección.

Su ciclo de vida, similar al de *Acanthamoeba*, consta de dos etapas: un trofozoito pleomórfico muy grande (comparado con el de las otras especies de amibas de vida libre) y un quiste con pared celular de tres capas y sin poros. *In vitro*, *B. mandrillaris* puede alimentarse de amibas más pequeñas, como *Naegleria* y *Acanthamoeba*, y células eucariontes.

Hasta el momento actual se han reportado aproximadamente 50 casos en Estados Unidos, 45 en Sudamérica y México, ocho en Australia y uno en la República Checa. De los casos presentados en Estados Unidos, aproximadamente 50% eran de origen hispano. No está claro si esta tendencia se deba a la exposición ambiental o a factores genéticos. De los aproximadamente 100 casos que se han reportado, sólo se sabe de tres casos de recuperación, dos en California y uno en Nueva York. En estos reportes se utilizaron tratamientos con múltiples drogas, particularmente antimicrobicos.

Actualmente, en colaboración con el Instituto de Diagnóstico y Referencia Epidemiológica (InDRE-SSA) estamos estudiando las proteasas de *B. mandrillaris* que probablemente estén involucradas en el daño a los



Inmunopatología de MAP experimental. a) Se observa una amiba (flecha) penetrando el neuroepitelio olfatorio (Ep) 12 horas después de la inoculación; b) presencia de varios trofozoitos en el bulbo olfatorio (BO) del SNC, 96 horas post inoculación; c) zona del bulbo olfatorio con una intensa reacción inflamatoria que rodea a numerosos trofozoitos 120 horas post inoculación, y d) aumento de una zona de daño donde se observan numerosos trofozoitos (flechas) rodeados de células inflamatorias polimorfonucleares (PMN), macrófagos (M) y lisis celular (L).

tejidos. El conocimiento de los mecanismos de patogenicidad que muestran estos organismos, así como las respuestas inmunitarias que despliega el huésped ante estas infecciones podrían explicar el comportamiento de enfermedades parasitarias que causan patologías en el sistema nervioso central.

Es importante tomar en consideración que la falta de un diagnóstico adecuado, aunada a la baja eficacia del tratamiento antimicrobiano disponible en la actualidad, conducen a una elevada tasa de mortalidad ocasionada por este grupo de parásitos. Es necesario que el médico, y en especial el infectólogo, tenga un mejor conocimiento sobre las enfermedades que ocasionan las amibas de vida libre. Un aspecto fundamental es la prevención de estas enfermedades infecciosas, tarea que corresponde a las autoridades sanitarias. En México, sin embargo, todavía no se lleva a cabo una adecuada vigilancia epidemiológica de los diversos cuerpos de agua dulce en centros recreativos o vacacionales, que son fuentes potenciales de contaminación. ●



Sección post mortem del cerebro de un paciente con MAP (Cortesía Dr. Eduardo López Corella).



Trofozoitos de *Balamuthia mandrillaris* en cultivo de células Vero (Cortesía Dr. José Luis Tapia Malagón).

La química del color

HACE CIENTO AÑOS NUESTRA SOCIEDAD NO ERA TAN COLORIDA COMO AHORA. PARA HACER MÁS FLAMANTE NUESTRO MUNDO, LOS QUÍMICOS INVESTIGAN NUEVAS SUSTANCIAS, UTILIZAN LAS COMPUTADORAS PARA SABER DE QUÉ COLOR ES UN COMPUESTO ANTES DE SINTETIZARLO EN EL LABORATORIO, BUSCAN NUEVAS MEZCLAS DE COMPUESTOS PARA COLOREAR NUESTROS ALIMENTOS Y ROPA, PROCURANDO QUE SEAN MÁS ECONÓMICAS Y QUE TENGAN MAYORES APLICACIONES.

José Adrián Peña Hueso
Adriana Esparza Ruiz
Raúl Colorado Peralta

Nuestro mundo se ve muy bien a colores. A todos nos gusta contemplar el campo verde, el cielo azul o las flores de variados colores, pero no sólo la naturaleza es colorida. Nos gustan tanto los colores que los queremos capturar en nuestros objetos; deseamos pintar nuestras casas, teñir nuestra ropa, imprimir fotografías brillantes, tener una televisión a colores, comer alimentos de buen color (figura 1). La química y la física son las ciencias que nos dan las herramientas para hacer casi cualquier color y ponerlo en el lugar que más nos agrada. El estudio de los colores ha sido muy profundo, sin embargo, como en cualquier área de las ciencias, siempre hay algo nuevo por hacer. Si deseamos saber qué es el color, qué lo causa y cómo se produce, vayamos por el principio.

¿Qué es la luz?

La luz visible para los seres humanos es una parte muy pequeña del espectro electromagnético, del mismo tipo

de radiación que los rayos X o las ondas de radio (figura 2). La luz, un fenómeno complejo, está compuesta de fotones que tienen propiedades de onda (como las olas en el mar) y de partícula (como una canica diminuta) y que llevan una energía definida. La velocidad de la luz es siempre constante y equivale exactamente a 299 792 458 m/s, suficiente velocidad para viajar por carretera de Tijuana a Chetumal más de 73 veces en un segundo o para dar casi 7.5 vueltas a la Tierra en un segundo. Como la velocidad es constante, al disminuir su longitud de onda (la distancia entre dos partes altas o dos partes bajas de dos ondas consecutivas) su frecuencia (número de ondas por segundo) aumenta y se incrementa la energía y viceversa. Por lo tanto, un fotón de ondas de radio tiene menos energía que uno de luz visible, y uno de rayos X tiene más energía que uno de luz visible.

No podemos ver toda esta radiación de la misma manera como percibimos la parte visible pero sabemos

JOSÉ ADRIÁN PEÑA HUESO Estudiante del programa de doctorado en química del **Cinvestav**, Unidad Zacatenco. Sus áreas de especialización son la química de coordinación del grupo principal de la tabla periódica, puentes de hidrógeno, interacciones débiles y difracción de rayos X de monocristal. Ha presentado los resultados de sus investigaciones en congresos nacionales e internacionales. Se interesa en la divulgación científica y ha participado en diversas conferencias a nivel nacional.
japena@cinvestav.mx

ADRIANA ESPARZA RUIZ Estudiante del programa de doctorado en ciencias químicas del **Cinvestav**, Unidad Zacatenco. Sus temas de investigación son la química de coordinación de los elementos del

bloque p con derivados de bencimidazol y benzotriazol, puentes de hidrógeno e interacciones débiles. Su interés en divulgar las ciencias químicas en México se refleja en su participación en diversas conferencias dirigidas a jóvenes de nivel medio básico y superior.
aesparza@cinvestav.mx

RAÚL COLORADO PERALTA Egresado de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana, actualmente es estudiante del programa de doctorado en ciencias químicas del **Cinvestav**, Unidad Zacatenco. Su tema de investigación es la química de coordinación de metales del bloque p, principalmente del grupo 13 (Al, Ga, In) con ditiazinanos. Ha participado en conferencias de divulgación científica a nivel nacional.
rcolorado@cinvestav.mx



Figura 1. Nuestro mundo a todo color.

que está ahí, la podemos producir y hemos aprendido a utilizar todos los diferentes tipos de radiación:

Las ondas de radio tienen longitudes de onda que van desde varios megámetros (un megámetro [Mm] es un millón de metros) hasta unos 30 centímetros y sirven para mandar señales de radio, televisión y telefonía celular.

Las microondas van de aproximadamente 30 centímetros hasta un milímetro y sirven tanto para las telecomunicaciones como para calentar nuestros alimentos.

El infrarrojo es lo que sentimos como calor; su longitud de onda va desde un milímetro hasta aproximadamente 700 nanómetros (un nanómetro [nm] es la millonésima parte de un milímetro).

El visible es la parte de la radiación a la que nuestros ojos son sensibles y se considera que va desde 700 hasta 400 nanómetros, aunque algunas personas pueden ver desde 780 hasta 380 nanómetros.

El ultravioleta es la radiación que nos ocasiona quemaduras cuando estamos mucho tiempo en el sol y se encuentra entre los 400 y los 10 nanómetros.

Los rayos X van de los 10 nanómetros hasta los 10 picómetros (un picómetro [pm] es la milésima parte de un nanómetro); son útiles para sacar radiografías y para ver dentro del equipaje en los aeropuertos.

Los rayos gama son la radiación más pequeña y energética. Se llama así a la radiación que va desde una longitud de onda máxima de unos 124 picómetros y sin límite de tamaño mínimo, pero las más pequeñas que se han encontrado miden un femtómetro (un femtómetro

[fm] es la milésima parte de un picómetro); se usan en medicina y para "ver" dentro de contenedores metálicos.

Indudablemente, podemos producir estas ondas y medir sus efectos. Las divisiones de la radiación en las diferentes clases no son tajantes, es como decidir si una elevación de tierra es un cerro grande o montaña pequeña.

Como una prueba de que las ondas electromagnéticas son de diferente tamaño, observe su horno de microondas la próxima vez que esté encendido. Los hornos producen fotones de dos tipos: de

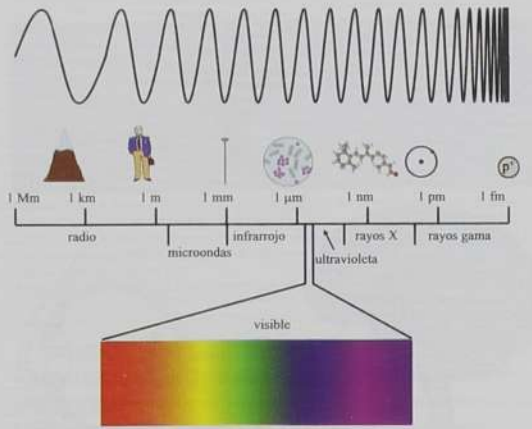


Figura 2. Espectro electromagnético. La escala mide la longitud de onda de la radiación; se muestran imágenes comparativas.

luz visible y de microondas. La luz visible tiene una longitud de onda muy pequeña (al dividir un milímetro en dos mil partes iguales, el resultado es la longitud de onda que tiene el color azul verde) y puede salir sin ningún problema a través de la malla metálica adherida a la puerta de vidrio del horno. Las microondas son mucho más grandes (un horno de microondas típico produce radiación de una longitud de onda de 12.24 cm) y no caben por esos agujeros, por lo tanto no pueden salir del horno.

¿Qué es el color?

El color es la interpretación que nuestro cerebro le da a los fotones de luz de diferente longitud de onda. Para que el color exista se necesitan dos cosas: luz que provenga de un objeto y una persona que pueda ver esa luz. Si no están presentes ambas, el color no existe, porque el color no es una propiedad de las ondas electromagnéticas.

La visión

El siguiente diagrama ilustra cómo funciona un ojo (figura 3). Cuando la luz llega, es enfocada por el cristalino y se forma una imagen invertida en la retina. La luz que llega a la retina provoca una señal eléctrica que se envía al

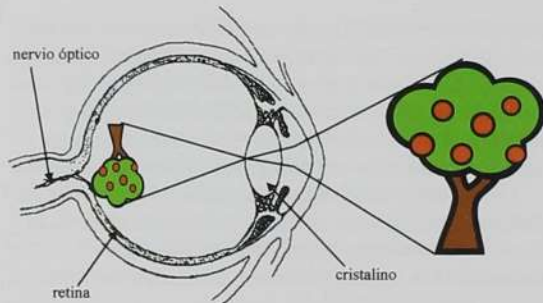


Figura 3. Proyección de la imagen de un objeto en la retina.

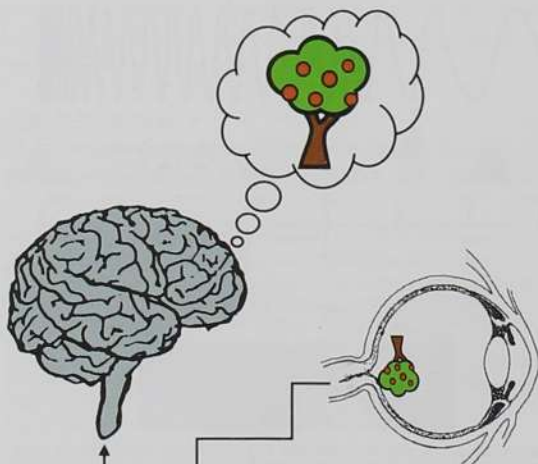


Figura 4. El cerebro interpreta una señal eléctrica que recibe del nervio óptico, reconstruye una imagen y asigna los colores que le corresponden.

cerebro. No vemos las cosas de cabeza porque el cerebro se encarga de procesar la señal que le llega por el nervio óptico, en el procesamiento endereza la imagen y le asigna los colores (figura 4). La miopía, la hipermetropía y el astigmatismo son causadas porque el cristalino no es capaz de enfocar bien la imagen sobre la retina.

En la retina hay una capa de células llamadas bastones y conos, especializadas en recibir luz y producir la señal eléctrica que se mandará al cerebro. Estas células receptoras reciben su nombre por la forma que tienen. Tenemos un solo tipo de bastón y tres tipos de conos (figura 5).

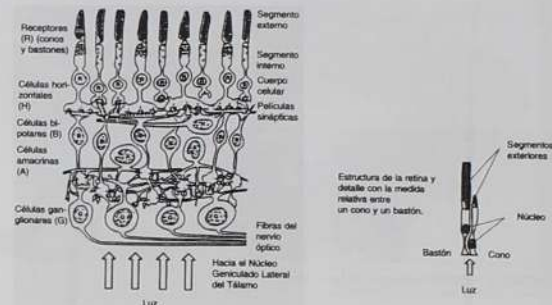


Figura 5. Esquema de las células de la retina. Tomado de <http://centros5.pntic.mec.es/ies.arquitecto.peridis/percep/retina.html>

En la retina tenemos aproximadamente 110 millones de bastones; son células muy sensibles que están activas cuando hay poca luz, casi en la total oscuridad, como al ver durante la noche únicamente con la luz de la luna. Al existir sólo un tipo de bastones, la señal que le llega al cerebro es monocromática y vemos en blanco y negro. Esto lo sabrá muy bien quien haya intentado escoger el color de su ropa en un cuarto oscuro. Los bastones son más sensibles a la frecuencia que corresponde a la luz verde, por lo que con poca luz un objeto verde se verá más brillante que uno rojo o uno azul (figura 6).

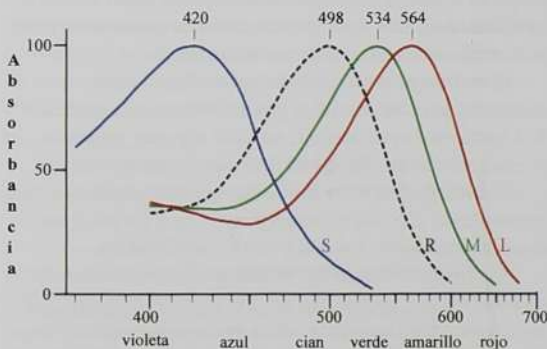


Figura 6. Absorción de la luz por cada tipo de cono. Los conos se conocen como S (short, corto), M (medium, mediano) y L (large, grande) dependiendo de la longitud de onda que absorben. La R representa a los bastones (rods). La escala de absorción es arbitraria; la escala horizontal indica la longitud de onda de la luz en nanómetros.

Tenemos en nuestros ojos unos 7 millones de los tres tipos de conos para ver cuando hay luz intensa y son éstos los responsables de nuestra visión a colores. Un cono absorbe principalmente en el amarillo (cono L), otro en el verde (cono M) y el tercero (cono S) en el azul (figura 6). Nuestra visión diurna es tricromática. Los conos S son aproximadamente 64% del total. Si a nuestros ojos llega luz de todas las longitudes de onda en igual cantidad, lo que vemos es blanco; si no llega nada de luz a nuestros ojos, vemos negro. Si la luz que llega a nuestros ojos tiene más cantidad de una determinada longitud de onda, vemos ese color.

El proceso inicial, gracias al cual podemos ver, es en esencia muy simple: dentro de los bastones y conos se encuentra una proteína llamada rodopsina (una diferente en cada tipo de célula) y dentro de ella está una molécula más pequeña que se llama 11-*cis*-retinal. La reacción que desencadena el proceso de visión es la transformación del 11-*cis*-retinal (doblado) a todo-*trans*-retinal (lineal) cuando absorbe la luz. La rodopsina tiene la forma ideal para que la forma *cis* se acomode perfectamente en su interior, pero la forma *trans* no tiene la geometría que la proteína requiere, entonces el retinal es expulsado de la proteína, la rodopsina se destruye y se tiene por separado la proteína vacía llamada opsina y el todo-*trans*-retinal. El proceso de destrucción de la rodopsina con la luz es rápido. Las células tienen que reconstruir la rodopsina para poder absorber luz nuevamente. Esta reacción inversa es más lenta y por esa razón tardamos un poco de tiempo en poder ver cuando pasamos de un lugar con mucha luz a otro con poca luz (figura 7).

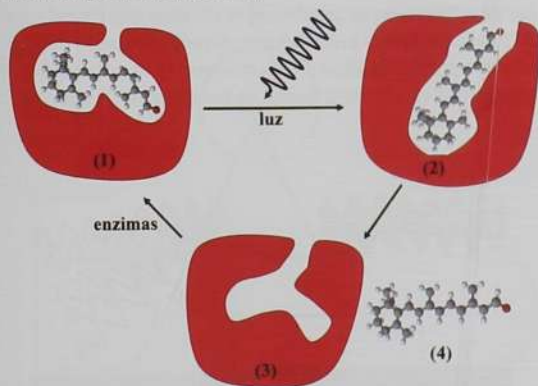


Figura 7. Cuando la rodopsina (1) recibe luz, sufre una reacción química. El retinal en su interior se transforma de 11-*cis* a todo-*trans* (2); esta forma es inestable y la molécula se descompone en sus partes: opsina (3) y todo-*trans*-retinal (4). Al poco tiempo, el retinal regresa a la forma 11-*cis* y la rodopsina se regenera en presencia de enzimas para luego volver a empezar.

Cada tipo de conos tiene una proteína opsina ligeramente diferente que se une al retinal, o sea, un pigmento diferente en cada tipo de cono. Estas pequeñas variaciones son las que provocan que el retinal absorba luz de una longitud de onda diferente, lo cual permite

al cerebro diferenciar la luz que proviene del objeto y componer una imagen a colores. Una ligera anomalía en la opsina de un tipo de conos puede modificar su capacidad para captar la luz, causando generalmente que no funcione bien. Aproximadamente 8% de los hombres y 0.5% de las mujeres tienen una deficiencia en la visión a colores, siendo la más común la deficiencia para percibir el color verde. Pocas personas, por lo general mujeres, tienen en su retina cuatro tipos diferentes de conos, por lo que su percepción de los colores es más rica que la de la mayoría de la población, mientras que aproximadamente 2% de los hombres sólo tiene dos tipos de conos y su percepción de los colores es pobre. Las deficiencias en la visión a colores se conocen comúnmente como daltonismo (figura 8).



Figura 8. Imágenes conocidas como pruebas de visión a color de Ishihara. Una persona con visión normal vería 57-74-8 y una con visión deficiente vería 35-21-3. Tomadas de <http://www.ironicans.com/ideas/>

Por lo que respecta a los animales, definitivamente no ven los colores como nosotros.

La mayoría de los mamíferos sólo tiene dos pigmentos diferentes, lo que implica que ven menos colores que la mayoría de las personas. Los gatos tienen tres pigmentos pero el número de conos en su retina es bajo, así que tal vez ven los colores en tonos débiles.

Por lo general, los insectos tienen tres pigmentos pero no ven igual que nosotros. Las abejas no pueden ver lo que para nosotros es rojo pero pueden ver el ultravioleta, que para nosotros es invisible (figura 9).



Figura 9. Dos fotografías de la misma flor. La de la derecha es una foto normal tomada en la región del visible, la de la izquierda está tomada con un filtro especial que sólo permite ver el ultravioleta. Los estambres de la flor son claramente visibles en el ultravioleta, nosotros no lo podemos notar pero las abejas sí. Fotos tomadas de <http://www.gb.nrao.edu/~sheather/video.html>

La mayoría de las aves tiene cuatro pigmentos diferentes, aunque algunas especies tienen cinco y son capaces de ver todo el visible más la región ultravioleta. Las aves diurnas tienen una gran cantidad de conos en su retina e, indudablemente, tienen una percepción de los colores mucho más intensa que cualquier persona.

Los peces tienen tres o cuatro pigmentos diferentes y seguramente también pueden ver una gama de colores más variada.

Para la mayoría de los animales nosotros somos unos débiles visuales. No podemos saber cómo ven los animales porque necesitamos no sólo ver a través de sus ojos, sino también tener su cerebro para ver como ellos. Es probable que algún día lo sepamos.

Descomposición de la luz blanca

Hay varias formas de producir colores: puede ser por descomposición de la luz blanca, por absorción de luz o por emisión de luz. En el primer caso no es muy importante con qué sustancia esté interactuando la luz, pero en los dos últimos sí importa mucho la estructura atómica o molecular de la sustancia.

¿Sabes por qué el cielo es azul? No es porque refleje el color del mar, sino por dispersión de la parte azul de la luz (figura 10). Esto es provocado por un fenómeno



Figura 10. El cielo es azul durante el día y el sol se ve rojizo al amanecer y al atardecer. Ambos efectos son causados por la dispersión de la parte azul de la luz.

llamado dispersión de Raleigh, que se manifiesta cuando una onda interactúa con una partícula que es menor de un décimo de su longitud de onda, es decir, al llegar la luz del Sol a la Tierra, choca con las moléculas de aire de nuestra atmósfera, que son principalmente oxígeno (O_2) y nitrógeno (N_2); estas moléculas dispersan la luz azul con más fuerza y, en lugar de seguir su camino, se desvía y llega a nuestros ojos (figura 11).

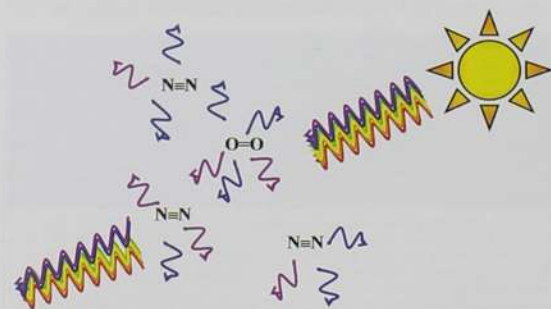


Figura 11. La dispersión de Raleigh se produce cuando la luz del sol choca con las moléculas del aire.

También se pueden ver colores por interferencia; como los colores tienen diferentes longitudes de onda, al reflejarse en la superficie de un objeto transparente y delgado, algunos pueden tener interferencia destructiva

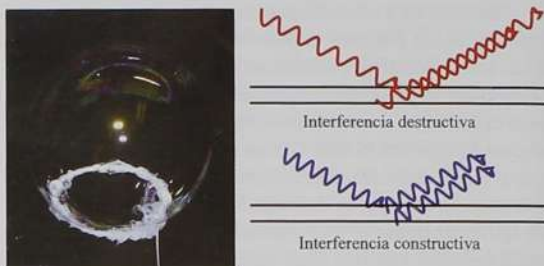


Figura 12. Los colores que se observan en las burbujas de jabón son producidos por interferencia. La luz se refleja en la película de agua. Si los valles coinciden con las crestas, la onda se anula, si coinciden crestas con crestas, se refuerza.

y la luz sale de un color diferente. Este fenómeno ocurre en las burbujas de jabón, en las manchas de aceite sobre el agua y en las cubiertas antirreflejantes de los vidrios (figura 12). También se producen colores por interferencia cuando se refleja la luz en objetos con estructuras muy pequeñas, como las plumas de las aves, en particular las del pavo real, que tienen unos diseños muy elaborados, producidos sólo por interferencia, pues las plumas únicamente tienen un pigmento negro.

La difracción es tal vez la forma más conocida de descomposición de la luz. Este fenómeno consiste en que la luz se desvía en cierto ángulo al atravesar una sustancia. Los colores de la luz blanca se separan porque cada uno se desvía en un ángulo diferente. Esto se observa cuando la luz del sol atraviesa las gotas de lluvia formando un arco iris, pero debido a que se requiere que la luz se refleje por el interior de la gota, sólo podemos ver un arco iris si tenemos el sol a nuestra espalda. También se puede hacer un arco iris usando un prisma de vidrio o poniendo un espejo inclinado dentro un recipiente con agua y dejando que la luz del sol se refleje (figura 13). Otra forma es hacer pasar la luz por

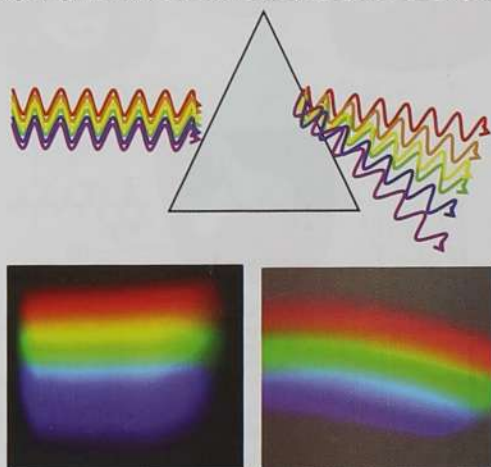


Figura 13. Cuando la luz blanca pasa a través del prisma, las diferentes longitudes de onda se desvían en un ángulo diferente y se forma un arco iris. Abajo (izquierda): arco iris hecho por difracción con un espejo sumergido en agua y (derecha) arco iris formado por difracción con un disco compacto.

una superficie que tenga ranuras a una distancia aproximadamente igual a la longitud de onda de la luz; gracias a esto se puede producir un arco iris reflejando la luz del sol en un disco compacto.

En todos los casos anteriores no importa realmente de qué esta hecha la sustancia con la que interacciona la luz; en la dispersión sólo importa el tamaño de la partícula y da lo mismo si es una molécula de N_2 o de O_2 ; en la interferencia da lo mismo si la superficie es una burbuja de jabón o una mancha de aceite, y en la difracción es irrelevante si el prisma es de vidrio o de plástico. Aquí no hay absorción ni emisión de luz; recordemos que en estos dos casos sí es muy importante la sustancia de la que estamos hablando.

Absorción de luz

Una sustancia puede absorber radiación si su energía corresponde exactamente a la necesaria para que suba a un nivel de mayor energía. Los fotones de la luz visible generalmente tienen la energía suficiente para que los electrones de una sustancia suban a un nivel de mayor energía. Un electrón en un átomo o una molécula no tiene permitido absorber cualquier cantidad de energía; es algo así como subir una escalera, sólo podemos subir la distancia de un escalón a otro y no podemos subir medio escalón. Como los fotones de luz de cada color tienen diferente energía, una sustancia puede absorber algunos colores y otros no. La emisión de luz es un proceso en sentido opuesto; una sustancia puede emitir radiación si pasa a un estado de menor energía. De igual manera que para la absorción, sólo está permitido emitir fotones de una energía característica para cada sustancia (figura 14).

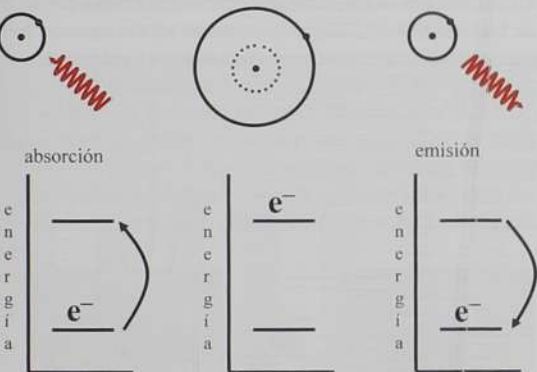


Figura 14. Un electrón puede absorber luz visible y pasar a un estado de mayor energía o puede emitir luz y pasar a un estado de menor energía.

Veamos primero la absorción de luz, que es algo muy familiar pero que por lo regular no analizamos detenidamente. Pensemos en una hoja de un árbol que todavía esté verde: recibe luz blanca y nosotros la vemos verde. Eso significa que está llegando luz verde desde la hoja hasta nuestros ojos, pero si la luz blanca es la mezcla

de todos los colores, ¿qué les pasó a los demás colores si sólo vemos el verde? La respuesta es que fueron absorbidos por la hoja; el verde no se absorbe y se refleja a nuestros ojos. Por ejemplo, la cáscara de un plátano puede absorber los colores azul y morado y refleja rojo, naranja, amarillo y verde. El resultado es que la vemos de color amarillo (figura 29). En otras palabras, las cosas se ven del color que no absorben (figura 15).

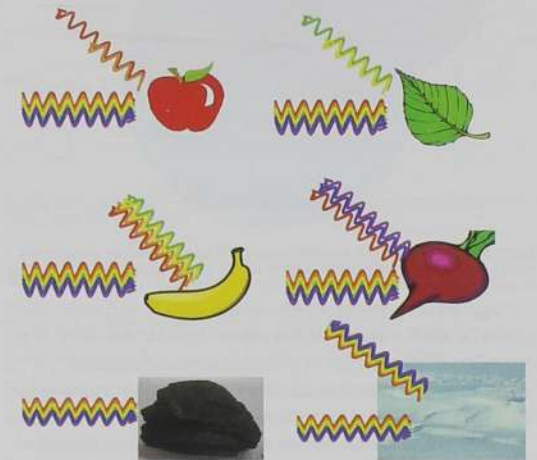


Figura 15. Las cosas son del color que no absorben. El negro absorbe todos los colores y el blanco los refleja.

Con esto en mente respondamos a la siguiente pregunta: ¿por qué el mar es azul? Muchos creen que es por el reflejo del cielo, pero no es así. El agua se ve azul en grandes cantidades porque de todos los colores que componen la luz blanca, el que menos absorbe es el azul; esta absorción es causada por las vibraciones moleculares. Las vibraciones y los movimientos de las moléculas de una sustancia absorben radiación electromagnética pero regularmente estas vibraciones absorben una parte que no es visible para nosotros. En el agua, estos movimientos moleculares son capaces de absorber radiación incluso en el visible, siendo más intensa esta absorción para la luz roja y menor para la azul.

Podemos obtener todos los colores a partir de los colores básicos. Hay dos conjuntos de colores básicos diferentes, dependiendo de lo que vayamos a hacer. Si vamos a mezclar tintas o pigmentos, como por ejemplo en una impresora a color, necesitamos los tres colores básicos sustractivos, que son amarillo, cian y magenta (figura 16). Se llaman sustractivos porque cada uno quita de la luz blanca una parte que absorbe. Por ejemplo, podemos hacer pintura verde mezclando pintura amarilla con la azul. Es definitivamente mejor que nuestra impresora a color tenga sólo tres tintas de color y no una por cada color que deseemos imprimir.

En el caso de las plantas, conocemos las estructuras de las moléculas más comunes que les dan color. Por ejemplo, el color verde es debido a la clorofila; algunos



Figura 16. Los colores básicos sustractivos son usados cuando se mezclan tintas y pigmentos; de la combinación de los tres se pueden obtener todos los demás.

rojos y la mayor parte de los tonos de anaranjado y amarillo se deben a las moléculas conocidas como carotenoides, y muchos tonos de rojo, azul y morado son causados por las antocianinas.

Las plantas verdes deben su color a la gran cantidad de clorofila que tienen en sus hojas o tallos. Esta molécula es la encargada de absorber la luz que servirá como fuente de energía en la fotosíntesis. Hay varios tipos de clorofila y las más importantes son las clorofilas A y B. Una parte muy importante en la estructura de la clorofila es el átomo central de magnesio (Mg), que le brinda muchas de sus propiedades y sin el cual no sería capaz de cumplir su función (figura 17).

Los carotenoides están presentes en muchas frutas y

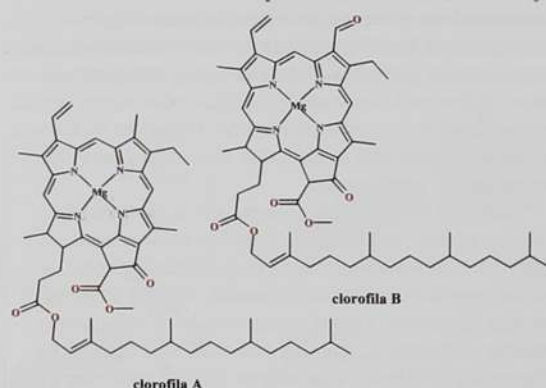


Figura 17. Estructuras químicas de la clorofila A y la clorofila B.

verduras. Hay más de 700 carotenoides en la naturaleza y uno de los más conocidos es el beta-caroteno, la fuente de la vitamina A y una de las moléculas que dan color a la zanahoria, el melón y el mango, pero también se encuentra en las espinacas y el brócoli. Si comparamos

la molécula del beta-caroteno con la vitamina A, veremos que se pueden obtener dos moléculas de vitamina A por cada una de beta-caroteno. Ahora comparemos la estructura de la vitamina A con el retinal, esa molécula tan importante en el proceso de la visión; ¡son casi iguales! (figura 18). Nuestro cuerpo necesita la vitamina A para fabricar el retinal que

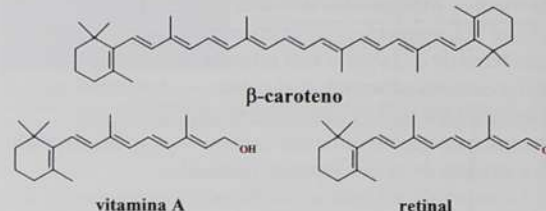


Figura 18. Estructuras del beta-caroteno, la vitamina A y del retinal.

formará a la rodopsina que es indispensable en la percepción de la luz. Esa es otra razón muy importante para consumir frutas y verduras.

Los carotenoides son producidos por las plantas pero están presentes en muchos animales herbívoros que los incluyen en su dieta. La grasa y la piel del pollo tienen un color amarillo porque el alimento o las semillas que consumen contienen carotenoides. Se encuentran en la grasa porque los carotenoides son moléculas solubles en grasa o aceite. También se encuentran en la carne de salmón y son los causantes de que los flamencos tengan sus plumas rosas, pues deben su color principalmente al alfa-caroteno y beta-caroteno contenidos en su dieta de algas y pequeños animales acuáticos.

Como último ejemplo, un caroteno llamado astaxantina es el causante del conocido cambio de color de los camarones o langostas cuando los cocinamos. La astaxantina se encuentra en el cuerpo del animalito encerrada en una proteína llamada crustacianina, dentro la cual absorbe todos los colores y contribuye a darle al organismo una coloración oscura, generalmente gris. Las proteínas son, por lo regular, moléculas muy sensibles a los cambios físicos y pierden su estructura cuando se someten a condiciones muy diferentes a las

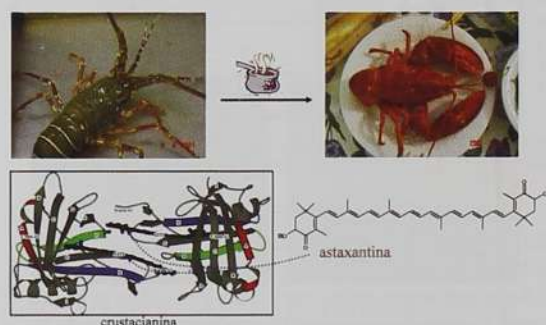


Figura 19. El cambio de color de la langosta, al cocinarla, se debe a que la crustacianina se destruye y la astaxantina se libera.

que existen en el ser vivo del cual provienen. Cuando se cocina, la crustacianina pierde su estructura y la astaxantina se libera dando al camarón el color rojo naranja característico de los carotenoides (figura 19). El hecho de que la astaxantina absorba diferentes colores cuando está encerrada en la crustacianina es similar al del retinal que puede absorber diferentes colores por interacción con las diferentes opsinas en las que se encuentra encerrado para formar la rodopsina.

Las antocianinas se encuentran, principalmente, en las flores y los frutos a los que imparten un amplio rango de colores. Hay más de 300 moléculas en este grupo. La col morada tiene muchos compuestos a los cuales debe su color tan intenso, básicamente antocianinas. Con estas moléculas se pueden hacer algunos experimentos que son muy ilustrativos de cómo puede variar el color de una sustancia con un pequeño cambio en su estructura. Podemos extraer las sustancias coloridas hirviendo la col en agua para obtener una solución morada. El experimento sale mejor si se usa agua desmineralizada, como la usada para las planchas de vapor, y se hierve la col en un recipiente de vidrio refractario. La solución resultante es de color morado, pero si se adiciona un ácido se volverá color rojo y si se adiciona una base se pondrá verde. Por ejemplo, el jugo de limón y el ácido muriático, que se usa para limpiar el sarro de los baños, pondrán la solución de color rojo, mientras que el carbonato de sodio, que se usa en la cocina, y la sosa cáustica harán que la solución se ponga verde (figura 20). El cambio de color es provocado por una pequeña modificación en la estructura de la antocianina. Un ácido puede ceder un átomo de hidrógeno a la antocianina y una base puede quitarle uno; estas reacciones cambian su distribución de electrones y provocan un cambio de color (figura 21).



Figura 20. El extracto acuoso, obtenido al hervir la col morada, cambia de color si se le agregan ácidos o bases.

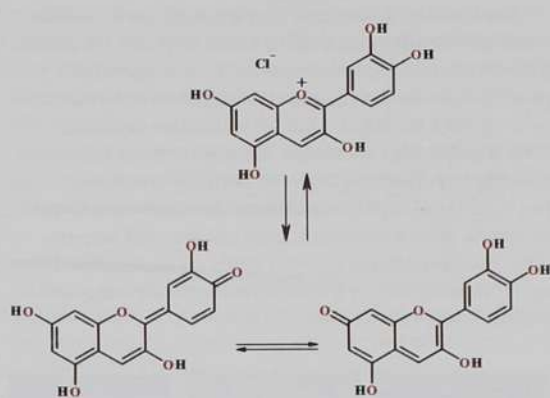


Figura 21. La adición de ácido o base provoca ligeros cambios en la estructura de la molécula y un gran cambio de color.

Muchos otros compuestos son capaces de cambiar de color al variar la concentración de iones de hidrógeno en la solución y se usan en química como indicadores. Se puede hacer el experimento anterior con diversos jugos y extractos coloridos de frutas para ver sus cambios de color.

Dejemos las plantas por un momento para hablar de nosotros mismos. ¿Sabes a qué se debe el color rojo de la sangre? En nuestra sangre circulan muchas células conocidas como eritrocitos o glóbulos rojos, en los que hay una molécula muy grande que se encarga de transportar el oxígeno desde nuestros pulmones hasta todos los rincones de nuestro cuerpo: la hemoglobina. La hemoglobina es una proteína que tiene en su interior un fragmento conocido como grupo hemo, que es el causante de su color rojo, el cual tiene un átomo de hierro (Fe) en el centro encargado de unirse a la molécula de oxígeno (figura 22). Si comparamos la estructura de la clorofila con la del grupo hemo, notamos un enorme parecido. El hecho de que una sea verde y el otro rojo se debe, principalmente, al cambio del metal en el centro de la estructura.

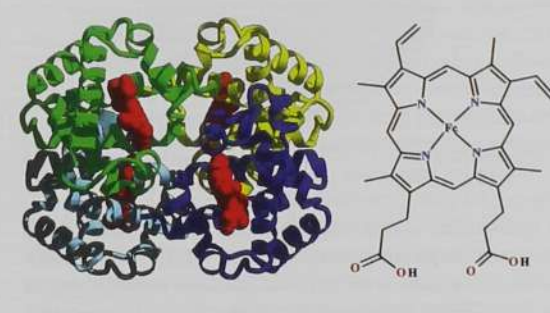


Figura 22. La hemoglobina (a la izquierda). El fragmento rojo en su interior es el grupo hemo, del cual se muestra su estructura a la derecha. La figura de la hemoglobina fue tomada de <http://www.psc.edu/science/Ho/Ho-hemoglobin.html>.

Los metales, de manera muy especial los conocidos como metales de transición, pueden impartir un color muy intenso a los compuestos en los que participan y pueden colorear una sustancia aunque estén presentes en muy poca cantidad. Muchos minerales deben su color a pequeñas cantidades de estos metales. Un ejemplo es el berilo (silicato de berilio y aluminio $\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_6$), que es un mineral incoloro cuando está en estado puro y cristalino, pero cuando está impuro, tiene muchos colores que van desde en azul pálido hasta un morado intenso, y puede formar cristales muy bellos y apreciados (figura 23).



Figura 23. Las impurezas de diversos metales en el berilo causan que el mineral adquiera colores diferentes.

Antiguamente se solían hacer las pinturas con pigmentos inorgánicos, que son formas puras de algunos minerales o compuestos preparados en los laboratorios. Se usaban el oropimente para el color amarillo o rejalgar para el naranja (dos modificaciones cristalinas del sulfuro de arsénico, As_2S_3), la azurita o malaquita (carbonato básico de cobre $2\text{CuCO}_3\cdot\text{Cu}(\text{OH})_2$) para un color azul más barato que el ultramarino, el naranja cadmio (sulfuro de cadmio, CdS), el verde esmeralda (acetato arsenito de cobre, $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2\cdot 3\text{Cu}(\text{AsO}_2)_2$), el cardenillo (acetato de cobre, $(\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Cu}$) que es verde, para el rojo el bermellón o cinabrio (sulfuro de mercurio, HgS), la creta (carbonato de calcio, CaCO_3) para el blanco y muchos más (figura 24). Desafortunadamente, estas sales metálicas no sirven para teñir telas y la mayoría son tóxicas. Los pintores debían ser precavidos para evitar intoxicarse con sus pinturas.

Entre los minerales que se han usado como pigmentos para pinturas, merece una mención especial el ultramarino o azul ultramarino ($\text{Na}_{8-10}\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{S}_{2-4}$), que se extrae de un mineral llamado lapislázuli, que es su forma impura, o del mineral llamado lazurita, que es su forma pura. Durante el Renacimiento, el lapislázuli se llevaba a Europa desde Afganistán, más allá del mar Mediterráneo (de ahí el nombre de ultramarino) y era



Figura 24. Baco y Ariadna, pintado por Tiziano en 1523. Los verdes son malaquita, tierra verde (un aluminosilicato complejo), cardenillo y resinato de cobre (mezcla de sales orgánicas de cobre), el azul es ultramarino, el rojo es bermellón, el naranja es rejalgar y el azul verde del mar es azurita.

tan codiciado que valía más que el oro. En la actualidad, el ultramarino se fabrica artificialmente y ya tiene un precio mucho más accesible para los consumidores (figura 25). Lo más importante es que el color azul de este pigmento no proviene de la presencia de ningún metal, sino que el color azul se lo da un fragmento de tres átomos de azufre (S_3^-).



Figura 25. Piezas de lapislázuli (a la izquierda) y pigmento azul ultramarino (a la derecha).

Para los textiles se utilizaban tintes extraídos de plantas como el indigo, que da un tinte azul, o el palo de Brasil, para teñir de color rojo; otros eran extraídos de insectos, como el carmín, que es un colorante rojo extraído de la cochinilla del nopal, y el púrpura, un tinte extremadamente codiciado, usado sólo por la realeza y el clero, que era extraído de algunas especies de caracoles (figura 26). Estas sustancias son compuestos orgánicos constituidos principalmente de carbono, que no estaban muy accesibles para el público general, ya que su extracción era costosa.

Hoy, el mercado de los colorantes está dominado por compuestos orgánicos sintéticos. La industria química ha desarrollado una amplia variedad de compuestos para usos muy específicos. Los más importantes son los tintes azo (caracterizados por tener dos nitrógenos unidos $\text{N}=\text{N}$), que corresponden a 60 ó



Figura 26. De izquierda a derecha: Indigofera tinctoria, de donde se extrae el indigo; nopal (*Opuntia spp.*) con cochinillas (*Dactylopius coccus*) de donde se extrae el carmín; conchas de *Murex bandaris* y *Murex trunculus*, caracoles que producen el púrpura.

70% de los tintes usados en textiles; los tintes de carbonilo (caracterizados por tener un grupo carbonilo C=O), que son segundos en importancia y se adhieren mejor a textiles de algodón; las ftalocianinas (con estructura parecida a la clorofila o el grupo hemo), que son moléculas muy útiles para hacer tintas con colores intensos y duraderos, entre otros (figura 27). Algunos compuestos inorgánicos son usados todavía y no difieren mucho de los usados desde hace cientos o miles de años, como los óxidos de hierro ($\text{FeO}(\text{OH})$, Fe_2O_3 , Fe_3O_4), el cromato de plomo (PbCrO_4), el sulfuro de cadmio (CdS), el ultramarino ($\text{Na}_8\text{10Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{S}_{2-4}$), el negro de humo, que es simplemente carbón y el azul de Prusia ($\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$), por mencionar a los más importantes.

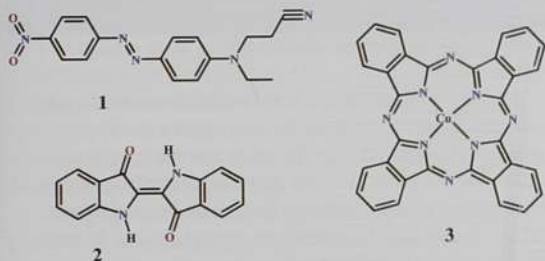


Figura 27. Sustancias colorantes representativas de los grupos más importantes: (1) un tinte azo: el naranja disperso 25, usado para colorear poliéster y nylon, (2) un tinte carbonilo: el indigo, usado para teñir la mezclilla de color azul, y (3) una ftalocianina: la ftalocianina de cobre, usada para hacer tintas azules.

A todos nos gusta que los alimentos que comemos tengan un color agradable, por eso es frecuente que los alimentos procesados tengan colorantes. Existen varios compuestos artificiales usados como colorantes y hay normas muy estrictas para permitir que un compuesto sintético sea usado como tal en alimentos. De ellos, los más comunes son el azul brillante o azul núm. 1, el rojo alura o rojo núm. 40, la tartrazina o amarillo núm. 5 y

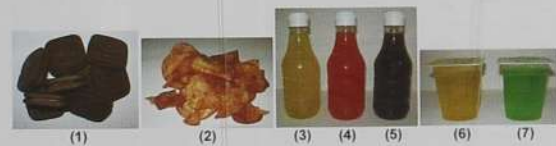


Figura 28. En estos productos se han usado los siguientes colorantes: azul brillante o azul 1 en (1), (2), (5) y (7); amarillo oca o amarillo 6 en (1), (2), (3), (4) y (6); tartrazina o amarillo 5 en (1), (3), (6) y (7); rojo alura o rojo 40 en (1), (2), (4) y (5).

el dióxido de titanio, este último para dar color blanco (figura 28). Sin embargo, también hay varios compuestos que son extraídos de fuentes naturales y son usados para dar color; dos ejemplos son el beta-caroteno y el carmín extraído de la cochinilla del nopal. Gracias a estas sustancias no sólo nuestros alimentos sino muchos otros productos que entran en contacto con la piel, como jabones y cosméticos, pueden ser coloreados.

Emisión de luz

Veamos, por último, la producción de colores por emisión de luz. Hay cosas que emiten luz colorida, como las lámparas de alumbrado público que emiten luz amarilla, los láseres o los LEDs de los semáforos modernos. En estos casos no hay absorción de luz de un color, simplemente se producen ciertos colores.

Si vamos a mezclar luces de colores, necesitamos los tres colores básicos aditivos, que son rojo, verde y azul (figura 29). Se llaman aditivos porque cada uno aporta luz de un color y se suman. En la pantalla de una televisión a colores hay pequeños rectángulos de color rojo, verde y azul; a partir de las combinaciones de estos tres colores podemos ver todos los colores que nos imaginemos. Comúnmente, los colores en una computadora se dan en una escala llamada rgb por sus siglas en inglés (*red green blue*; rojo verde azul en español), pues los monitores de las computadoras utilizan una tecnología muy similar a la de una televisión. La diferencia más notable entre los colores sustractivos y los aditivos es que si mezclamos los tres básicos sustractivos obtenemos el negro y si mezclamos los tres básicos aditivos obtenemos el blanco.

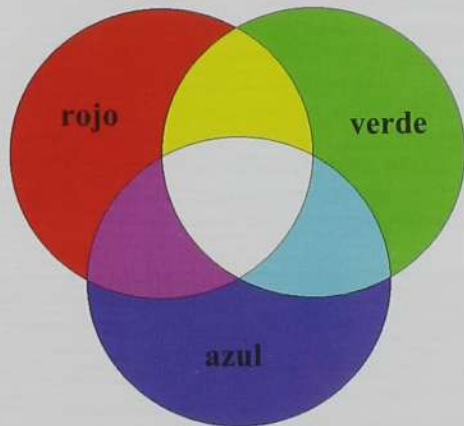


Figura 29. Los colores básicos aditivos son usados cuando se mezclan luces de colores, como en las pantallas de televisión; de la combinación de los tres se pueden obtener todos los demás.

El fuego es una reacción química muy vigorosa, es una oxidación muy rápida. En esta reacción se desprende mucha energía en forma de luz y calor. Hay reacciones de combustión que producen mucha luz, como es el caso de la combustión del magnesio metálico. La luz es tan intensa que es difícil mirar a la

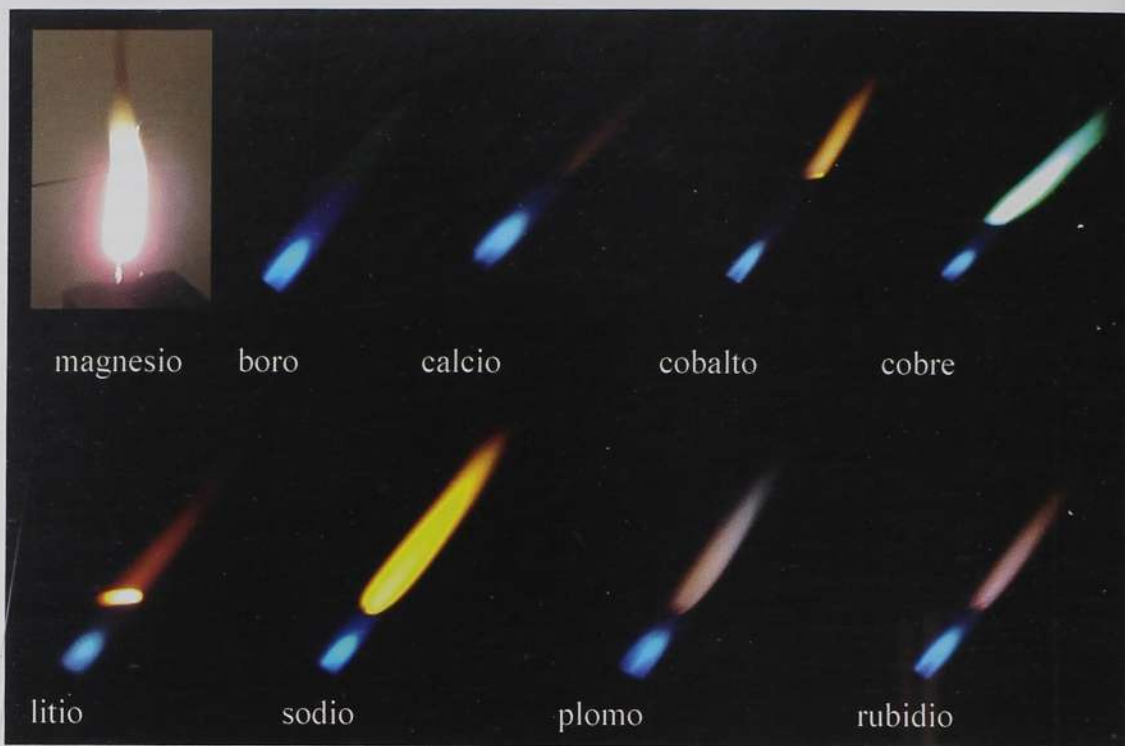


Figura 30. El magnesio arde con una llama blanca muy brillante. Otros metales le imparten a la llama colores característicos.

llama directamente sin lastimarse los ojos. Pero esta luz es casi de color blanco (figura 30).

Los fuegos pirotécnicos son un espectáculo muy usado en ocasiones especiales. Es común celebrar la noche del 15 de septiembre con un castillo en el cual hay luces multicolores y tal vez hasta una bandera de México que se ilumina con la pólvora ardiente. Para lograrlo, se utilizan compuestos metálicos que se añaden a la pólvora y que, al arder, brillarán de un color en particular. Si se ponen sales metálicas en una llama, cada metal brillará con un color particular (figura 30).

Es notorio el color tan característico e intenso que imparte el sodio a una llama. Cualquiera que haya cocinado, habrá visto que la sal de cocina (cloruro de sodio, NaCl) vuelve la llama de color amarillo-naranja. Si este color se parece al de las lámparas de alumbrado público no es una coincidencia. En el interior de estas lámparas se encuentra un poco de sodio metálico, que con el calor se evapora fácilmente y brilla con gran intensidad (figura 31). Estas lámparas son por mucho las más efectivas en cuanto a producción de luz se refiere y su número es tan abundante en algunas ciudades que



Figura 31. Lámparas de vapor de sodio usadas en Cinvestav-Zacatenco.

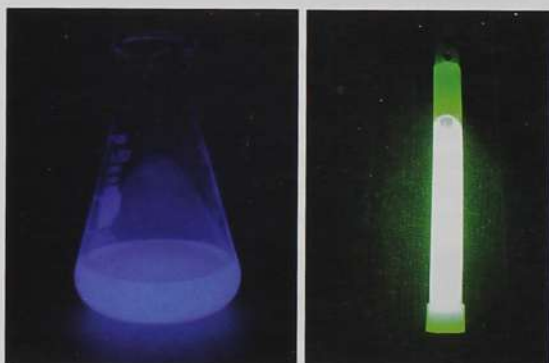


Figura 32. La oxidación del luminol es una reacción que produce luz (izquierda) y es aprovechada en la fabricación de tubos para iluminación (derecha).

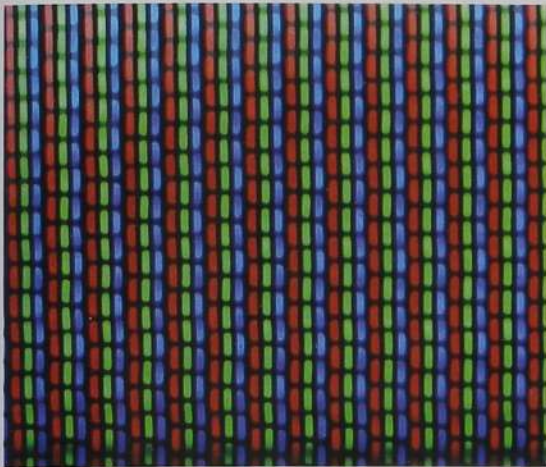


Figura 33. Pantalla de televisión (izquierda) y monitor de computadora (derecha); ambos usan los mismos colores aunque su distribución es diferente.

cuando está nublado de noche, las nubes presentan un ligero color naranja, que no es más que el reflejo de la luz producida por ellas.

Sin embargo, no todas las reacciones que producen luz van acompañadas de calor. Este tipo particular de producción de luz se llama quimioluminiscencia. El luminol es un compuesto que se oxida lentamente produciendo luz durante el proceso. Otra sustancia que hace lo mismo es la luciferina, que tienen las luciérnagas y les sirve para producir luz y atraer a sus parejas. Las personas no usan el luminol para atraer a su pareja, pero lo usamos para la fabricación de tubos luminiscentes, que son comunes en el campismo pues no necesitan pilas (figura 32).

Como último ejemplo de producción de colores por emisión de luz, veamos cómo se producen los colores en la pantalla de una televisión. Toda la pantalla se encuentra dividida en pequeños rectángulos (que son más fáciles de ver en una televisión grande o usando una lupa) cubiertos de tres sustancias diferentes. Estas sustancias no son compuestos puros sino mezclas de compuestos, que son capaces de brillar de un

determinado color cuando son golpeados por uno de los electrones producidos en el tubo de rayos catódicos. Los colores usados son justamente rojo, verde y azul, pues hay producción de luz y se deben usar los colores básicos aditivos (figura 33).

Comentario final

Se ha estudiado mucho la relación que hay entre la forma de una molécula y su color. Actualmente, con la ayuda de las computadoras es posible saber de qué color es un compuesto antes de sintetizarlo en el laboratorio. Los químicos investigan nuevas sustancias para hacer más colorido nuestro mundo y estudian las ya conocidas. Todavía se buscan compuestos nuevos; unos para colorear nuestros alimentos, otros para que los pigmentos se adhieran con más fuerza al textil y la ropa no se decolore, y otros más que sean económicos y tengan mayores aplicaciones. Hace cien años nuestra sociedad no era tan colorida como ahora y si algún joven lector se interesa en el estudio de esta disciplina, sus aportaciones harán que nuestro futuro sea aún más colorido. ●

[Bibliografía]

Finlay, V. *Colores*. Editorial Océano, España, 2004. (Historia de las sustancias usadas en la pintura en la antigüedad.)
 Ball, P. *La invención del color*. Fondo de Cultura Económica, México, 2003. (Historia de las sustancias usadas en la pintura, un punto de vista un poco más químico.)
 Christie, R.M. *Colour Chemistry*. The Royal Society of Chemistry, Gran Bretaña, 2001. (Libro técnico acerca de producción y usos de sustancias usadas como tintes y pigmentos.)
 Snyder, C.H. *The Extraordinary Chemistry of Ordinary Things*. John Wiley and Sons, Inc., EUA, 2003. (Libro de texto y divulgación química.)
 Las causas del color
<http://webexhibits.org/causesofcolor/index.html>
 Wikipedia (versión en inglés)
http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page
 Sitio especializado en la retina y el sistema visual
<http://webvision.med.utah.edu/index.html>
 Los pigmentos a través de la historia
<http://webexhibits.org/pigments/>
 Colorantes alimenticios
<http://www.cfsan.fda.gov/~lrd/colorfac.html>
 Colores en los minerales
<http://seismo.berkeley.edu/~jill/wisc/Lect7.html>

Color en fuegos artificiales
<http://www.cc.oulu.fi/~kempmp/colours.html>
 La reacción de la rodopsina con la luz
<http://www.chemistry.wustl.edu/~courses/genchem/Tutorials/Vision/isomeration.htm>
 El proceso de la visión
http://www.accessexcellence.com/AE/AEC/CC/vision_background.html
 La visión a colores
<http://4colorvision.com/>
 Acerca de por qué las hojas cambian de color al secarse
http://harvardforest.fas.harvard.edu/research/leaves/pdf/2002_11_leaf_article.pdf
 Visión a color de aves y abejas
<http://www.rattlesnake.com/notions/birds-colorvision.html>
 Fotos de flores en ultravioleta
http://www.um.u-tokyo.ac.jp/publish_db/Bulletin/no39/no39004.html
 Visión ultravioleta de las aves
<http://users.mikrotec.com/~pthrush/lighting/cvb.html>
 Visión a color de diversos animales
http://pcwww.liv.ac.uk/~rbj/RBJ/rbjteaching/colour_vision_in_animals.htm



Unidad de Servicios Bibliográficos del Cinvestav.

El sitio Web <http://www.csb.cinvestav.mx>, de la Unidad de Servicios Bibliográficos (USB), mantiene ligas con los principales editores de revistas científicas, las distintas unidades y bibliotecas del Cinvestav, y otras directamente relacionadas con las especialidades que se cultivan en esta institución. A fin de contribuir al desarrollo científico, se crearon accesos a sitios relacionados con sociedades científicas en México y en el extranjero, y entidades que están directamente vinculadas a la investigación en el ámbito nacional.

Patrones de acceso a los servicios bibliográficos del Cinvestav

LA UNIDAD DE SERVICIOS BIBLIOGRÁFICOS DEL CINVESTAV CONSTRUYÓ EN 1995 SU PRIMERA PÁGINA WEB. ACTUALMENTE, CON DOS DE ELLAS, EL USUARIO PUEDE CONSULTAR EL CATÁLOGO BIBLIOGRÁFICO QUE INTEGRA LOS FONDOS DOCUMENTALES DE LAS BIBLIOTECAS DEL CINVESTAV, ACCEDER A ACERVOS BIBLIOGRÁFICOS Y TEXTOS COMPLETOS, ADEMÁS DE CONSULTAR BASES DE DATOS DE CARÁCTER INTERNACIONAL. EN EL PRESENTE ARTÍCULO SE MUESTRAN LOS RESULTADOS DE UN ANÁLISIS DEL TRÁFICO DE ACCESO A ESTOS SERVICIOS EN LÍNEA, CUYO PROPÓSITO FUE AVERIGUAR SI LOS OBJETIVOS TRAZADOS POR LA UNIDAD SE ESTÁN CUMPLIENDO.

María Elena Luna-Morales

Para las instituciones de investigación y de educación superior es de suma importancia llevar un registro de los accesos que reciben sus páginas Web. Esto es todavía más imprescindible en el caso de los sitios por los que se dan a conocer servicios en línea: acervos bibliográficos, texto completo y el acceso a bases de datos de carácter internacional (*Science Citation Index*, *Social Science Citation Index*, *MathSciNet* e *ISPEC*, por citar sólo algunos ejemplos). Desde luego, la primera preocupación de los administradores de estas páginas es contar con elementos que determinen si estos servicios están realmente cumpliendo sus objetivos, además de contribuir a mejorar e incrementar las visitas a través del análisis del tráfico que se produce durante los accesos [1].

En 1995 se construyó, en la Unidad de Servicios Bibliográficos (USB) del Cinvestav, la primera página web para dar a conocer sus servicios de información. Con el desarrollo y actualización de las nuevas tecnologías de información fue posible mejorar las formas de almacenamiento y manejo de datos. A su vez, esto repercutió en el mejoramiento de los servicios garantizando el acceso directo a bases de datos en línea

y el ingreso a recursos en texto completo. Actualmente, la USB cuenta con dos páginas Web (<http://www.csb.cinvestav.mx> y <http://sb3.csb.cinvestav.mx>), por medio de las cuales es posible llegar a los servicios que ofrecen, sobre todo a las revistas con acceso a texto completo, que se ha constituido en el servicio de mayor demanda entre los usuarios y bibliotecas especializadas. Estas últimas realizan gran parte de sus suscripciones de revistas en forma electrónica a fin de garantizar su acceso simultáneo sin importar la ubicación geográfica de los usuarios.

Los servicios que ofrece la página Web de la USB (figura 1) son los siguientes: acceso a revistas en texto completo (únicamente a través de dominios y direcciones IP del Cinvestav); consulta del catálogo bibliográfico que integra los fondos documentales de las bibliotecas del Cinvestav; un libro electrónico titulado *Protein Structure and Function*, así como el ingreso al sitio *ISI Web of Knowledge*, que garantiza el acceso a bases de datos como *Web of Science*, que a su vez reúne a *Science Citation Index Expanded* y *Social Sciences Citation Index Expanded*, *Current Contents Connect*,

Científica). Asimismo es coautora del libro *El uso de nuevas formas de comunicación científica: el caso de la física mexicana de partículas y campos* (FCE, en imprenta). Ha participado como ponente en diferentes congresos y seminarios en los ámbitos nacional e internacional. A partir de 2001 es profesora en la Escuela Nacional de Biblioteconomía y Archivonomía (ENBA).

elena@csb.cinvestav.mx

MARÍA ELENA LUNA-MORALES Licenciada en Bibliotecología por la Facultad de Filosofía y Letras, UNAM. Es maestra y actualmente estudiante de doctorado en Bibliotecología y Estudios de la Información en la misma institución. Tiene a su cargo las áreas de Sistemas de Información Bibliográfica y Procesos Técnicos en la Unidad de Servicios Bibliográficos del Cinvestav. Es coautora de diversos trabajos originales publicados en revistas de corriente principal (*Scientometrics* e *Interiencia*, además de la *Revista Española de Documentación*

INSPEC y herramientas como *Journal Citation Reports*, *Essential Science Indicators*, entre otros recursos complementarios. Por otro lado, está la posibilidad de entrar a las bases de datos del área de ciencias exactas y naturales: *MathSciNet*, *MathDI* y *Spire-HEP*.

La opción bases de datos en ingenierías y tecnologías garantiza el acceso a *INSPEC* y *ETDEWEB*. La liga correspondiente a bases de datos en ciencias biológicas y de salud incluye la posibilidad de ir a *CSA Illumina*, que agrupa a *BioOne Full-Text*, *Biological Science* y *Medline*, además de *Aquaculture Abstracts (ASFA)*, *BioMed y PubMed*, estas últimas de acceso gratuito. La misma página da a conocer otros servicios, entre los que destacan: la consecución de documentos a nivel nacional e internacional (recuperación de documentos no localizados en bibliotecas del Cinvestav y del país). El desarrollo de análisis de citas para investigadores locales y externos, el acceso a las fuentes de la OECD (*Organisation for Economic Cooperation and Development*), información sobre patentes en CD-ROM, así como la opción de recuperar el archivo para la instalación de la base de datos *SciFinder*.

Tal como lo muestra la figura 1, la página mantiene ligas con los principales editores de revistas científicas, las distintas unidades y bibliotecas del Cinvestav, y bibliotecas que están directamente relacionadas con las especialidades que se cultivan en el Cinvestav. Finalmente, con la idea de contribuir al desarrollo científico, se crearon accesos a sitios como: sociedades científicas en México y en el extranjero, y entidades que están directamente vinculadas a la investigación: el Consejo Nacional para la Ciencia y la Tecnología (Conacyt), Academia Mexicana de Ciencias, Sistema Nacional de Investigadores, Consejo Consultivo de Ciencias, entre otros.

Para determinar la utilidad de estos servicios, se integró a los servidores el paquete *Webalizer*, que en conjunto con el archivo log de apache completaron la tarea de análisis. En este caso, el archivo log captura el historial de las actividades que se desempeñan en el servidor. Registra cuándo y qué documentos fueron servidos y proporciona un sumario de información sobre las solicitudes de los archivos que incluye ciertos parámetros del usuario (ubicación y lugar del visitante, dirección IP, ancho de banda transferido, descarga de páginas y hits). Puesto que resulta bastante tedioso revisar el archivo log manualmente, se han desarrollado varios programas orientados a procesar dicho archivo, entre los que destacan: *AWStats*, *Webalizer*, *Urchin*, *HitsLinks* y *ClickTracks*. Para nuestros fines optamos por instalar *Webalizer*, que resultó muy apropiado para recuperar las estadísticas requeridas [2, 3].

De enero a diciembre de 2006, el servidor www.csb.cinvestav.mx registró un total de 1 623 608 hits, a través de 56 490 visitas procedentes de 2 535 URL's y 19 015 sitios únicos. Se consultaron 184 205



Figura 1. Página principal de la Unidad de Servicios Bibliográficos.

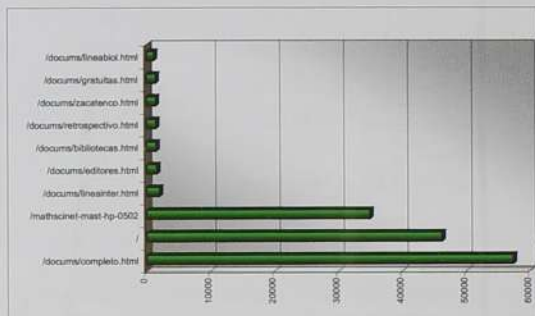


Figura 2. Distribución del número de accesos a las páginas más populares.

páginas y se transfirieron 568 616 archivos. Más de 90% de los hits, visitas, host (máquina conecta a una red) y descripción del host son de origen local (Cinvestav) y nacional. El otro 10% corresponde a países como Estados Unidos, Canadá, Reino Unido, Perú, Argentina, Colombia, Chile y España. La página sb3.csb.cinvestav.mx presenta un patrón similar al de la página principal de la USB: sobresale la participación de usuarios sobre todo del Cinvestav, algunas instituciones nacionales y de otros países como Estados Unidos, Argentina, Perú, Colombia y España.

Actividad del sitio Web <http://www.csb.cinvestav.mx>

La tabla 1 muestra la distribución de accesos mensuales que recibió la página Web <http://www.csb.cinvestav.mx>; como se puede observar, durante 2006 se realizaron un total de 1 623 608 hits en este sitio. El promedio general por mes corresponde a 135 300. Septiembre fue el mes que captó el mayor número de hits (171 714) y también el que transfirió más archivos (59 036) de un total anual de 568 516. De igual manera, contabilizó el número más alto de sitios únicos: 2 049 de 19 015. Por su parte, marzo está identificado como el mes en que más

TABLA 1

DISTRIBUCIÓN DE ACCESOS MENSUALES REGISTRADOS EN LA PÁGINA HTTP://WWW.CSB.CINVESTAV.MX.

Meses	Total Hits ¹	Total Archivos ²	Total Páginas ³	Total Visitas ⁴	Total Sitios únicos ⁵	Total URLS únicos ⁶
Enero	24 226	10 396	2 250	988	544	154
Febrero	152 469	56 753	19 543	5 768	1 774	241
Marzo	167 514	59 844	20 754	5 809	1 853	191
Abril	129 405	44 428	15 191	4 639	1 517	212
Mayo	157 355	53 327	19 220	5 613	1 884	192
Junio	166 951	51 852	19 999	5 445	1 869	221
Julio	169 562	49 876	19 778	5 283	1 546	226
Agosto	158 831	56 298	18 829	5 560	1 871	198
Septiembre	171 714	59 036	19 468	5 669	2 049	228
Octubre	119 546	44 591	12 225	4 341	1 890	253
Noviembre	140 006	55 116	11 110	4 692	1 674	220
Diciembre	66 029	26 999	5 480	2 683	544	199
Totales	1 623 608	568 516	184 207	56 490	19 015	2 535

1 Hace referencia a cada petición que realiza generalmente un navegador o un servidor Web. Si un navegador solicita una página Web, esto es contabilizada como un hit.

2 Se refiere al número de veces que los archivos que conforman la página Web son solicitados.

3 Una Página Web es una fuente de información adaptada para la World Wide Web y accesible mediante un navegador de Internet.

4 Se refiere al número de visitas a un sitio por un usuario durante un periodo determinado.

5 Es un punto de la Internet con una dirección única que puede contener multitud de documentos accesibles para un navegador.

6 URL (*Uniform Resource Locator*) se refiere a la dirección única que identifica a una página Web en Internet.

páginas se consultaron: 20 754 de 184 207. Finalmente, octubre recibió el valor más alto de URLS únicos, 253 de los 2 535 identificados durante todo el año de estudio.

La figura 2 presenta la distribución del número de accesos a los sitios más populares entre los usuarios. Puede observarse que existe un mayor interés por acceder a las revistas en texto completo, en este caso identificado como */docs/completo.html*. En orden de preferencia, el segundo lugar lo ocupan las entradas a la página principal (/) y la tercero corresponde a las consultas realizadas a la base de datos *MathSciNet*. Luego están presentes los sitios que conducen hacia las bases de datos en ciencias multidisciplinarias, los editores de revistas, las bibliotecas del Cinvestav, el acceso a texto completo de años anteriores al 2000, las bibliotecas ubicadas únicamente en Zacatenco, las bases de datos gratuitas y, finalmente, las bases de datos en ciencias biológicas y de la salud. Con frecuencias que van de 665 a 999 hits durante el año, se registran los ingresos a las bases de datos de *CSA Ilumina* (*/docs/CSA.html*), sobre la USB (*/docs/usb.html*), las ligas directas hacia las unidades del Cinvestav (*/docs/unidades.html*), las instituciones y organismos relacionados con el desarrollo de la ciencia en México (*/docs/entidades.html*). Con accesos de 100 a 600 registros al año, se ubicaron los siguientes sitios: */docs/personal.html*, */docs/bibafines.html*, */docs/sociedades.html*, */docs/soc-extranj.html*, */docs/lineaotra.html*, y */docs/provincia.html*.

De los aproximadamente 2 mil ingresos mensuales procedentes de diferentes hosts, se seleccionaron los que mayor número de consultas realizaron durante el año 2006 a la página Web *www.csb.cinvestav.mx*. Como se muestra en la tabla 2, se truncaron las direcciones IP a partir del nodo (terminal o estación de trabajo que tiene acceso a Internet); lo anterior, para reducir el número de procedencias que anualmente ingresan a nuestra página. Por otro lado, tal como se puede observar, la tabla está estructurada en cuatro columnas: la primera hace referencia a la numeración consecutiva, la segunda integra la IP o el dominio, la tercera muestra el total de hits y la última, la ubicación de los hosts. En total fueron seleccionados 33 hosts, pues se tomó como criterio la presentación sólo de aquéllos que registraron más de mil hits. En este sentido, predominan los hits ejecutados por los departamentos y bibliotecas del Cinvestav, sobre todo de la USB de donde proviene el número más alto, 300 625, correspondiente a 52.08% del total de los ingresos registrados en esta tabla. En orden consecutivo le sigue el nodo 148.247.197, también localizado dentro del Cinvestav con 41 199 hits, equivalente a 7.14%, y corresponde a un servidor administrado por la Coordinación General de Servicios de Cómputo Académico (CGSCA). La Unidad Mérida también sobresale a través del nodo 148.247.193 de donde se registraron 36 147 (6.26%) de los ingresos. Algo similar ocurrió con la Unidad Saltillo a través de su nodo 148.247.22 que registró 29 918 hits, lo que en

TABLA 2
RELACIÓN DE HOSTS Y DOMINIOS MÁS ACTIVOS

No.	Hosts	Hits	% Hits	Descripción del Host
1	148.247.69	300 625	52.08	Cinvestav. USB
2	148.247.197	41 199	7.14	Cinvestav. CGSCA
3	148.247.193	36 147	6.26	Cinvestav. Unidad Mérida
4	148.247.22	29 437	5.10	Cinvestav. Unidad Saltillo
5	148.247.98	24 918	4.32	Cinvestav. Ingeniería Eléctrica
6	148.247.255	19 984	3.46	Cinvestav. CGSCA
7	chac.mda.cinvestav.mx	17 523	3.04	Cinvestav. Unidad Mérida
8	148.247.153	13 461	2.33	Cinvestav. Biología Celular
9	148.247.194	12 009	2.08	Cinvestav. Unidad Mérida
10	148.247.105	11 976	2.07	Cinvestav. CGSCA
11	148.247.8	9 552	1.65	Cinvestav. Física
12	148.247.195	8 922	1.55	Cinvestav. Unidad Mérida
13	148.247.41	5 805	1.01	Cinvestav. Unidad Querétaro
14	148.247.154	5 731	0.99	Cinvestav. CGSCA
15	148.247.107	5 306	0.92	Cinvestav. CGSCA
16	server.ie.cinvestav.mx	3 653	0.63	Cinvestav. Ingeniería Eléctrica
17	148.247.74	3 165	0.55	Cinvestav. CGSCA
18	148.247.182	2 757	0.48	Cinvestav. Física
19	192.100.180	2 576	0.45	IMP
20	148.247.21	2 423	0.42	Cinvestav. Unidad Guadalajara
21	148.247.103	2 414	0.42	Cinvestav. CGSCA
22	148.247.156	2 320	0.40	Cinvestav. Neurología
23	148.247.185	1 825	0.32	Biblioteca de Ciencias Exactas
24	148.247.71	1 654	0.29	Cinvestav. Bioelectrónica
25	ozelaya.fis.cinvestav.mx	1 515	0.26	Cinvestav. Física
26	201.144.59	1 489	0.26	Comercial
27	galileo.matedu.cinvestav.mx	1 428	0.25	Matemática Educativa
28	148.247.122	1 416	0.25	Cinvestav. CGSCA
29	cts-design.com	1 244	0.22	Comercial
30	tezcatlipoca.cell.cinvestav.mx	1 495	0.26	Cinvestav. Biología Celular
31	gtib.imp.mx	1 168	0.20	IMP
32	zamna.mda.cinvestav.mx	1 100	0.19	Cinvestav. Unidad Mérida
33	148.247.159	1 000	0.17	Cinvestav. CGSCA
Totales		577 237	100.00	

promedio equivale a 5.10%. Fenómeno parecido lo da a conocer Ingeniería Eléctrica que registró 24 918 (4.32%) del total. Con 3.46% y 3.04% se ubican el 148.247.255 y *chac.mda.Cinvestav.mx*. Con promedios menores a 2% están los 24 nodos restantes, entre ellos los correspondientes a los departamentos de Biología Celular, Física, Ingeniería Eléctrica, Neurología, Bioelectrónica y Matemática Educativa y la Biblioteca de Ciencias Exactas; en Unidades como Querétaro, Guadalajara, Saltillo y Mérida. Es importante mencionar la presencia del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP) y de las redes comerciales.

En la tabla 3 se presenta un listado de los principales países visitantes; en total se identificaron 50, pero la tabla sólo muestra los 30 que realizaron el mayor número de hits. Los 20 restantes están integrados al grupo otros caracterizados porque únicamente

realizaron entre 2 y 173 hits, y tuvieron visitas que varían de 2 hasta 28 durante el año de estudio. Como se puede observar, hay países que con pocas visitas ejecutaron un alto número de hits; de igual manera, aquéllos que presentan más visitas realizaron menos hits. En la misma tabla se puede apreciar que destaca la participación de México, que de un total de 38 868 visitas realizó 27 970, equivalente a 71.96%; y de 2 418 287 hits ejecutó 2 254 433, es decir, 93.22% del universo analizado. Estados Unidos es el segundo país que mayor número visitas registró (9 313), correspondiente a 23.96%, y 117 804 (4.87%) hits. En orden de hits ejecutados con totales de 7 024, 6 398, 5 553 y 5 388, y promedios de 0.29%, 0.26%, 0.23% 0.22%, aparecen Argentina Perú, Colombia y España, respectivamente, como resultado de 106, 96, 88 y 102 visitas con promedios de 0.27%, 0.25%, 0.23% y 0.26%. Chile y

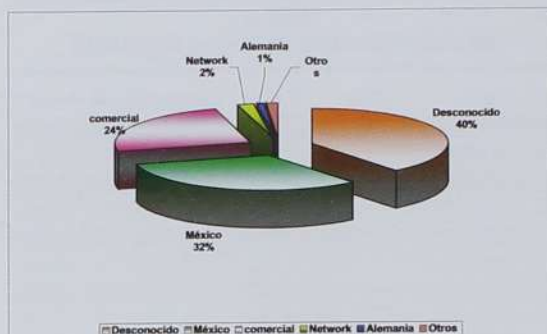


Figura 4. Distribución de dominios según el número de visitas.

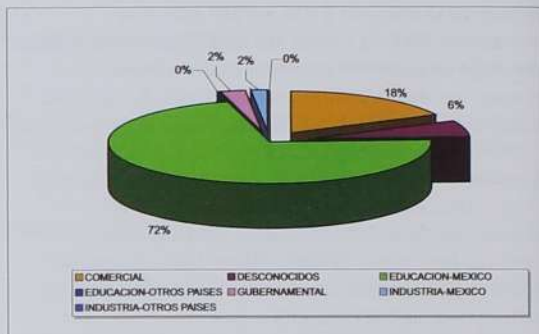


Figura 5. Distribución de organizaciones e instituciones que ingresaron al catálogo de bibliotecas.

TABLA 4.
PRINCIPALES HOSTS QUE INGRESAN AL CATÁLOGO DE BIBLIOTECAS DEL CINVESTAV

No.	Host	Institución	Hits	% Hits	Visitas	% Visitas
1	148.247.197.66	Cinvestav	193 431	20.73	708	8.39
2	148.247.185.30	Cinvestav	184 861	19.81	893	10.59
4	Server.ie.Cinvestav.mx	Cinvestav	78 880	8.45	744	8.82
5	148.247.69.43	Cinvestav	67 620	7.25	652	7.73
6	148.247.107.100	Cinvestav	40 262	4.32	645	7.65
7	148.247.69.20	Cinvestav	31 532	3.38	233	2.76
8	galileo.matedu.Cinvestav.mx	Cinvestav	29 710	3.18	262	3.11
9	cts-design.com	Cinvestav	27 347	2.93	511	6.06
10	USB-PC38	Cinvestav	22 829	2.45	298	3.53
3	crawl-66-249-72-106.googlebot.com	Buscadores	26 565	2.85	126	1.49
11	148.247.69.8	Cinvestav	22 530	2.41	264	3.13
12	148.247.225.201	Cinvestav	21 510	2.31	245	2.90
13	148.247.69.56	Cinvestav	21 452	2.30	271	3.21
14	Silicio.qteorica.Cinvestav.mx	Cinvestav	16 234	1.74	265	3.14
15	www.imp.mx	IMP	15 561	1.67	139	1.65
16	CINVESTA-VYE3WI	Cinvestav	14 673	1.57	200	2.37
17	148.204.136.63	IPN	14 251	1.53	110	1.30
18	CINVESTA-5N80W8	Cinvestav	14 114	1.51	159	1.89
19	gtib.imp.mx	IMP	14 030	1.50	132	1.57
20	catalogo3.bquim.Cinvestav.mx	Cinvestav	11 716	1.26	117	1.39
21	148.247.225.200	Cinvestav	9 517	1.02	133	1.58
22	Wlan.math.Cinvestav.mx	Cinvestav	8 785	0.94	137	1.62
23	USB-PC39	Cinvestav	8 739	0.94	135	1.60
24	altair.cs.Cinvestav.mx	Cinvestav	8 553	0.92	134	1.59
25	148.247.41.26	Cinvestav	7 197	0.77	161	1.91
26	148.247.69.37	Cinvestav	6 054	0.65	126	1.49
27	circulacion.bquim.Cinvestav.mx	Cinvestav	5 006	0.54	119	1.41
28	natter.inegi.gob.mx	INEGI	4 114	0.44	225	2.67
29	livebot-65-55-213-99.search.live.com	Buscadores	3 809	0.41	163	1.93
30	148.247.69.5	Cinvestav	2 170	0.23	127	1.51
			933 052	100	8 434	100.00

De acuerdo con el estudio realizado en 2006, existe un mayor interés del usuario por acceder a las revistas en texto completo; el segundo lugar lo ocupan las entradas a las páginas principales, y el tercero, las consultas realizadas a bases de datos en ciencias multidisciplinarias.

El estado completo y la actualización permanente de los fondos documentales del Cinvestav, los posicionan entre las bibliotecas especializadas más importantes del país, e incluso de América Latina. Sus servicios gozan de una amplia cobertura, lograda por una tenaz labor de promoción. Así, se han podido identificar visitantes de 13 países latinoamericanos, además de otros provenientes de América del Norte, El Caribe, Europa y Asia. Lo anterior no sería posible sin la importante labor que se desarrolla en el área de procesos técnicos de la USB y, por supuesto, de las distintas bibliotecas del Cinvestav.

las descripciones, entre las que sobresalen Argentina, Perú, Colombia, Educación, Brasil, Japón, Chile, España, Reino Unido, Polonia, Canadá, Italia y Francia.

La tabla 5 permite determinar en qué países se registró un mayor interés por el ingreso al catálogo de bibliotecas del Cinvestav durante el año 2006. En este aspecto, observamos que el porcentaje más alto de hits se llevó a cabo en nuestro país con 93% del total; 7% restante se divide entre los países mostrados en la misma tabla; entre algunos ejemplos citamos: Estados Unidos, Argentina, Perú, Colombia, España, Chile, Venezuela, Brasil, Ecuador, Francia, Reino Unido, Alemania y Canadá. En otros se agruparon los países que reportaron menos de 250 hits, entre ellos: Panamá, Puerto Rico, Honduras, India, Suiza, Ucrania, Bélgica, Egipto, Israel, Tailandia y Eslovaquia.

Con respecto a las visitas por países, nuevamente resalta la presencia de México, que con 27 970 (72%) de visitas, realizó 2 254 433 hits señalados en la tabla 5. Estados Unidos, con 9 313 (23.97%) visitas, realizó 117 804 (4.87%) de los hits. Figuran, por otro lado, países como Argentina, Perú, Colombia y España, que con visitas que varían entre 88 y 106, consiguieron realizar 7 024, 6 398, 5 553 y 5 388 hits. Por su parte, aquellos países que alcanzan un mayor número de visitas como Canadá y Alemania, sólo ejecutaron 1 083 y 1 269 hits, respectivamente.

La tabla 6 presenta la distribución mensual de hits, archivos, páginas, visitas, sitios únicos y URLs únicos que recibió el servidor del catálogo de bibliotecas del Cinvestav. Como se indica, septiembre fue el mes que tuvo mayor demanda en hits, archivos, sitios únicos y visitas. Marzo registró la demanda más alta en uso de páginas, y octubre el total más alto en sitios únicos. Finalmente, enero registró los valores más bajos entre los elementos evaluados.

Por último, la figura 5 registra la distribución de organizaciones e instituciones que ingresaron al catálogo de bibliotecas del Cinvestav. En este caso predominan con 72% los accesos de instituciones de educación superior en México, entre las que destacan: el Cinvestav, la UNAM, el IPN, el IMP, el INAOE (Instituto Nacional de Astrofísica Óptica y Electrónica), el ITAM (Instituto Tecnológico

TABLA 5
PAÍSES QUE MAYOR NÚMERO DE BÚSQUEDAS Y VISITAS REALIZAN AL CATÁLOGO DE BIBLIOTECAS DEL CINVESTAV

No.	País	Hits	% Hits	Visitas	% Visitas
1	México	2 254 433	93.24	27 970	72.00
2	Estados Unidos	117 804	4.87	9 313	23.97
3	Argentina	7 024	0.29	106	0.27
4	Perú	6 398	0.26	96	0.25
5	Colombia	5 553	0.23	88	0.23
6	España	5 388	0.22	102	0.26
7	Chile	2 636	0.11	56	0.14
8	Venezuela	2 537	0.10	44	0.11
9	Brasil	1 585	0.07	44	0.11
10	Ecuador	1 388	0.06	17	0.04
11	Francia	1 338	0.06	97	0.25
12	Reino Unido	1 292	0.05	50	0.13
13	Alemania	1 269	0.05	210	0.54
14	Canadá	1 083	0.04	295	0.76
15	Bolivia	896	0.04	33	0.08
16	Cuba	768	0.03	10	0.03
17	Guatemala	627	0.03	13	0.03
18	República Dominicana	415	0.02	7	0.02
19	El Salvador	407	0.02	6	0.02
20	Puerto Rico	403	0.02	6	0.02
21	India	356	0.01	5	0.01
22	Panamá	320	0.01	6	0.02
23	Costa Rica	320	0.01	7	0.02
24	Italia	320	0.01	12	0.03
25	Japón	298	0.01	41	0.11
26	China	289	0.01	35	0.09
27	Honduras	274	0.01	5	0.01
28	Polonia	267	0.01	22	0.06
29	Uruguay	255	0.01	7	0.02
30	Irlanda	251	0.01	6	0.02
31	Otros	1 603	0.07	136	0.35
Total		2 417 797	100.00	38 845	100.00

TABLA 6
DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE ACCESOS A LA PÁGINA [HTTP://SB3.CSB.CINVESTAV.MX](http://SB3.CSB.CINVESTAV.MX)

Meses	Total Hits ¹	Total Archivos ²	Total Páginas ³	Total Visitas ⁴	Total Sitios únicos ⁵	Total URLs únicos ⁶
Enero	24 226	10 396	2 250	988	544	3 937
Febrero	152 469	56 753	19 543	5 768	1 774	3 197
Marzo	167 514	59 844	20 754	5 809	1 853	3 600
Abril	129 405	44 428	15 191	4 639	1 517	1 940
Mayo	157 355	53 327	19 220	5 613	1 884	1 012
Junio	166 951	51 852	19 999	5 445	1 869	2 595
Julio	169 562	49 876	19 778	5 283	1 546	90 542
Agosto	158 831	56 298	18 829	5 560	1 871	119 360
Septiembre	171 714	59 036	19 468	5 669	2 049	147 476
Octubre	119 546	44 591	12 225	4 341	1 890	159 525
Noviembre	140 006	51 116	10 478	4 692	1 614	128 445
Diciembre	66 029	26 999	5 840	2 683	1 041	66 344
Totales	1 623 608	5 68 516	184 207	56 490	19 452	727 973

1 Hace referencia a cada petición que realiza generalmente un navegador o un servidor Web. Si un navegador solicita una página Web, esto es contabilizada como un hit.

2 Se refiere al número de veces que los archivos que conforman la página Web son solicitados.

3 Una página Web es una fuente de información adaptada para la World Wide Web y accesible mediante un navegador de Internet.

4 Se refiere al número de visitas a un sitio por un usuario durante un periodo determinado.

5 Es un punto de la Internet con una dirección única que puede contener multitud de documentos accesibles para un navegador.

6 URL (*Uniform Resource Locator*) se refiere a la dirección única que identifica a una página Web en Internet.

Autónomo de Monterrey), el CIDE (Centro de Investigación y Docencia Económica), el CENAM (Centro Nacional de Metrología), el CIO (Centro de Investigaciones en Óptica), el CIBNOR (Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste), el CIATEQ (Centro de Información Científica y tecnológica), la UDG, el ITESM, la BUAP, la Universidad Quetzalcóatl de Irapuato, el Instituto Tecnológico de Mérida y otros. Tienen un lugar importante los accesos comerciales (18%), que integra tanto los de origen nacional como internacional; un 6% corresponde a los ingresos de IP's con dominios desconocidos (no es posible identificar su procedencia). Tanto los ingresos gubernamentales como los de la industria mexicana registran 2% del total cada uno. Finalmente, están las organizaciones de educación e industria de otros países, ambas con valores porcentuales muy bajos, casi cero.

Discusión

En el caso del sitio Web <http://www.csb.cinvestav.mx>, la liga más frecuentemente solicitada es la correspondiente a revistas con acceso a texto-completo (/docs/completo.html). Este suceso resulta un poco extraño, sobre todo porque generalmente es la página

principal de cualquier sitio Web la que retiene el impacto más alto. Esto se debe a la promoción otorgada a este servicio a través de distintas formas. Por un lado, se difunde una lista de revistas con acceso a texto completo desde la página principal y, por otro, a través del área de procesos técnicos de la USB, donde se integra a los registros bibliográficos de revistas la etiqueta 856 del formato marc21, que establece una liga de acceso al texto completo de la revista. De esta manera, por medio del ingreso al catálogo de bibliotecas del Cinvestav, el usuario puede disponer del texto completo de aquellas revistas que lo incluyen o se adquirieron en este formato, siempre y cuando el usuario se encuentre en una máquina con dirección IP o dominio Cinvestav (148.247.x.x) y (Cinvestav.mx).

No hay que perder de vista que las formas de acceso a la información están evolucionando y que el usuario, al no encontrar eco en los servicios que ofrecen las bibliotecas, opta por recurrir a sitios Web que garantizan la información de manera segura, permanente y gratuita. Este es el esquema que actualmente siguen los físicos del país y en particular los orientados al área de partículas y campos, que cada vez recurren más a sistemas de

Por medio del ingreso al catálogo de bibliotecas del Cinvestav, el usuario puede disponer del texto completo de aquellas revistas que lo incluyen o se adquirieron en este formato, siempre y cuando el usuario se encuentre en una máquina con dirección IP o dominio Cinvestav (148.247.x.x) y (Cinvestav.mx).



Espacios de consulta en las bibliotecas del Cinvestav.



Acervos documentales (libros, tesis, reportes, otros) en las bibliotecas del Cinvestav.



Acervos documentales (publicaciones periódicas) en las bibliotecas del Cinvestav.

información como *Spires-Hep* y *ArXiv* para recuperar el texto completo de los documentos que necesitan, sin necesidad de recurrir a la biblioteca y ajustarse a los horarios que estas mantienen [4].

Por otro lado, el estado tan completo y la actualización permanente de los fondos documentales del Cinvestav los posicionan como uno de los más importantes entre las bibliotecas especializadas del país, e incluso de América Latina. Como consecuencia de ello, podemos identificar en este estudio los siguientes países visitantes: Argentina, Perú, Colombia, Brasil, Chile, Venezuela, Ecuador, Bolivia, El Salvador, Guatemala, Panamá, Uruguay y Honduras. Aunque también tiene presencia en otros países tanto de América del Norte, del Caribe, Europa y Asia, por ejemplo: Estados Unidos, Canadá, Costa Rica, Puerto Rico, República Dominicana, Cuba, España, Francia, Reino Unido, Alemania, Italia, Polonia, Irlanda, Suecia, Federación Rusa, Japón y China. Lo anterior no sería posible sin la importante labor que se desarrolla en el área de procesos técnicos de la USB y, por supuesto, de las distintas bibliotecas del Cinvestav.

La cobertura tan amplia que actualmente tienen nuestros servicios de información se ha logrado gracias a la forma en que se promueven. Sin embargo, creo que podrían lograr un mejor impacto, sobre todo en el ámbito nacional, si se organiza una campaña de difusión y promoción para dar a conocer tanto los acervos del Centro como los servicios que el Cinvestav otorga a través de sus distintas bibliotecas.

Conclusión

Las páginas Web de la USB tienen mayor demanda a nivel local, es decir, dentro de la propia comunidad de usuarios del Cinvestav. Esta situación también se reproduce en el ámbito nacional y prueba de ello son los altos promedios de hits y visitas registradas para México.

Estas páginas cumplen con los fines para los que fueron creadas, ya que tienen una demanda concentrada principalmente en los fondos documentales del Cinvestav y las revistas con accesos a texto completo.

Gran parte de las visitas llegan a través de redes comerciales, sin dominio, o de buscadores. Esto quiere decir que hay un crecimiento en el uso de herramientas públicas como Internet, lo que facilita las búsquedas para el usuario desde la comodidad del hogar. ●

* Agradezco la colaboración del Ing. Raúl Cuevas Córdova en la recuperación de los datos.

[Referencias]

- [1] Macías, F. (2007). "¿Y quién visita mi Web?". Disponible en: http://www.microsoft.com/spain/empresas/internet/visita_web.msp, (enero, 2007).
- [2] Aplicaciones y servicios de estadísticas para el posicionamiento en buscadores. Disponible en: <http://posicionamientobuscadores.developers4web.com/servicios-de-estadisticas-para-posicionamiento-buscadores>, (enero, 2007).
- [3] Estadísticas Web: analiza a fondo el tráfico de tu sitio online. Disponible en: <http://www.desarrolloweb.com/articulos/2045.php>, (enero, 2007).
- [4] Luna-Morales, M.E. y Russell-Barnard, J.M. (2007). *El uso de nuevas formas de comunicación científica: el caso de la física mexicana de partículas y campos*, México, Fondo de Cultura Económica (en imprenta).

Y sin embargo, se mueve

HABÍAN PASADO DOS SIGLOS DESDE GALILEO Y LOS CIENTÍFICOS AÚN NO LOGRABAN DEMOSTRAR, SIN MIRAR A LAS ESTRELLAS, QUE LA TIERRA ROTABA SOBRE SU EJE. FINALMENTE LO CONSIGUIÓ UN FÍSICO FRANCÉS, JEAN-BERNARD LÉON FOUCAULT (1819-1868), CON UN EXPERIMENTO QUE LLEVÓ A CABO BAJO LA CÚPULA DEL PANTHÉON. EL SIGUIENTE RELATO ES UNA FICCIÓN LITERARIA DE ESTE RELEVANTE SUCESO CIENTÍFICO.

J. Carlos Ruiz Suárez

Los que se quedan con la gloria, o la vergüenza –balbuceó Jean-Bernard Léon Foucault mientras atisbaba hacia lo alto del pórtico– no son los muertos, sino los que siguen vivos...

Parado en el primer escalón de la escalinata, acercó las manos a su boca y exhaló un aliento cálido sobre ellas. El viento helado que subía desde los jardines de Luxemburgo cortaba sus nudillos y azotaba sus mejillas enrojecidas. Subió la vista de nuevo y sintió en la mente el crujir de las columnas corintias que parecían sufrir sosteniendo el peso de su gran responsabilidad. Jean-Bernard leía una y otra vez la frase arriba de las columnas: *Aux grands hommes la Patrie reconnaissante*. Los restos de los grandes hombres de Francia, aquellos que habían forjado la Patria, yacían justo ahí, donde él quería demostrar al mundo que la Tierra giraba alrededor de sí misma. Mientras Foucault miraba la inscripción con recelo, rumiaba una y otra vez su estrategia. Sabía que Mouré Jodot era el primer eslabón de la cadena de mando que tenía que convencer para poder colgar su esfera bajo el domo central del Panthéon. ¿Qué le diría para darle a entender la importancia de su experimento? ¿Podría comprenderlo un burócrata como él? Le habían advertido sus colegas que monsieur Jodot era una persona solemne, baja de

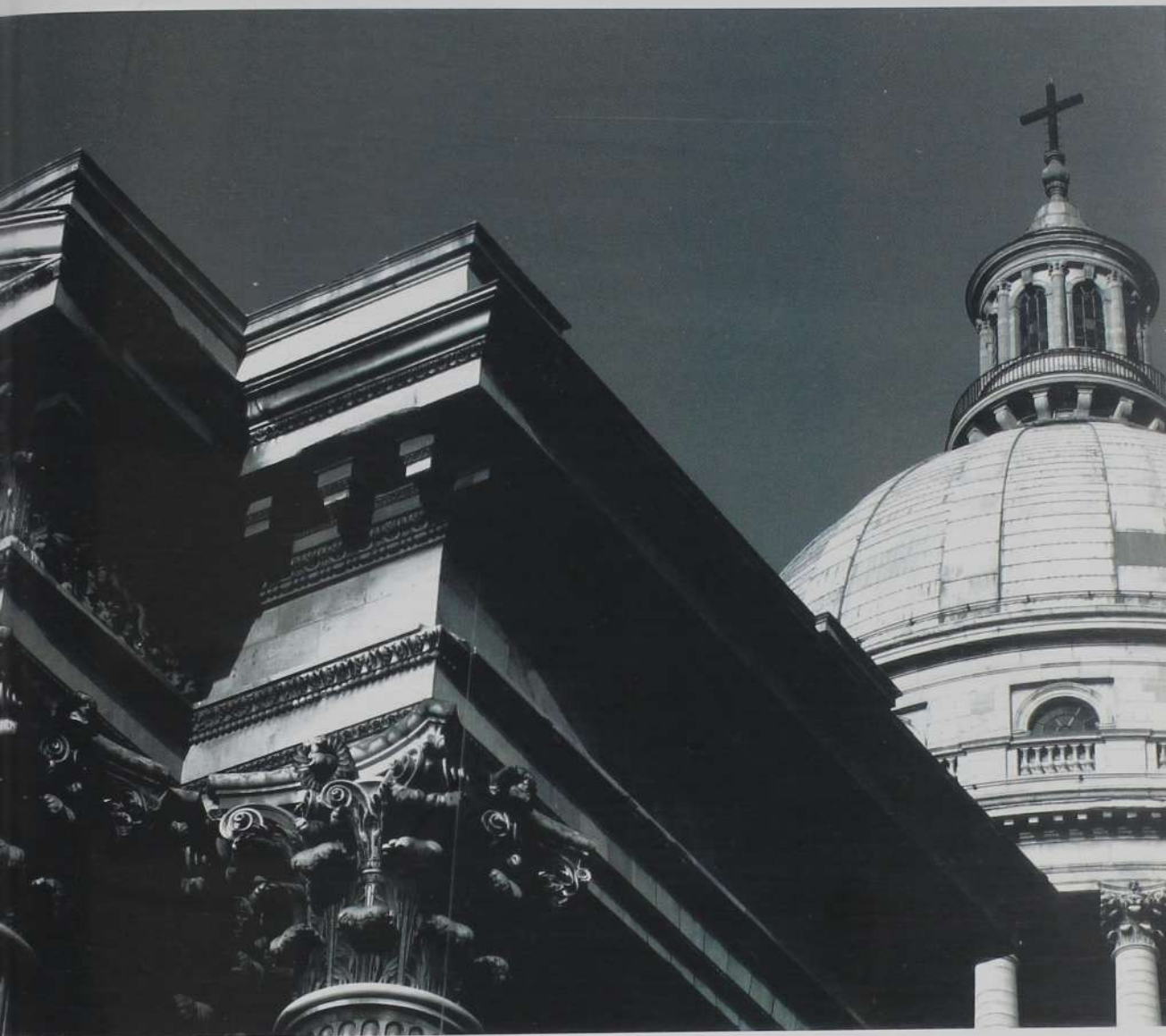
estatura y de intelecto, pero amable en extremo cuando trataba a una personalidad. ¿Tendría Foucault las credenciales suficientes para atraer su interés?

Entró con la cabeza en alto; la dignidad primero que nada. En sus manos llevaba los planos de su idea. “Usted pensará que estoy loco” –le hablaba a Jodot dentro de su cabeza– que ¿cómo puede una esfera colgada de un hilo de sesenta y siete metros de largo demostrar que la Tierra gira sobre su eje? Pero le diré algo si me presta atención”, y aquí haría una pausa para atraer su curiosidad, una pausa larga donde Foucault miraría el domo con respeto; “mi péndulo no es cualquier péndulo, es algo más, es un compás impasible, que estará conectado con las estrellas mismas”. Y entonces, Jean-Bernard fijaría su vista sobre los ojos del burócrata. Estaba seguro de impactar a Jodot de esa forma.

Meses atrás lo había intentado sin éxito alguno en la catedral de Notre Dame. La iglesia no toleraba la idea de ver colgada en su interior una esfera que iba a demostrar algo por lo que Giordano Bruno había sido quemado vivo tres siglos antes. “Jamás –le había dicho el arzobispo de París–, la historia no puede enmendarse así, sería una ironía. La iglesia pudo obrar mal, pero no es juez de su propio pasado.” Un recinto laico es lo que Foucault necesitaba.

J. CARLOS RUIZ SUÁREZ Profesor titular D. Doctor en Física por la Universidad de Waterloo (Canadá), donde obtuvo la medalla B. W. Pearson por mejor tesis doctoral. Profesor visitante en la Universidad de Princeton y École Supérieure de Physique et de Chimie en París. Jefe del Departamento de Física en el Cinvestav-Mérida (2000-2004). Presidente de la Comisión de Promoción y Estimulo para los

Investigadores (2006). Sus áreas de investigación son fluidos complejos y materia granular. En su tiempo libre escribe cuentos y novelas. Este cuento forma parte de un libro en preparación, titulado *Cuentos de física para gente cuerda*.
crui@mda.cinvestav.mx



Mouré Jodot salió de una pequeña puerta camuflada en el mármol de la sala principal, se aproximó a él e hizo una ligera reverencia. Foucault repitió el gesto y entró en materia. Su nerviosismo lo hizo apartarse del guión ensayado una y otra vez:

– No deseo quitarle su valioso tiempo, señor Jodot, he venido a pedirle que me ayude a realizar un experimento que sorprenderá al mundo civilizado. Quiero colgar –y Foucault señaló hacia arriba– un hilo de aquél punto, el cual sostendrá a una esfera de acero. Pretendo demostrar con este simple artefacto que nuestro planeta gira sobre sí mismo. Todos, hasta la excelentísima iglesia, sabemos que esto es así, pero jamás ha sido verificado. Los ojos del mundo observarán a Francia y cuando...

Jodot no le dejó continuar:

– Este no es un circo, es nada menos que un recinto solemne. Descansan aquí, por si no lo sabía, los restos de los más grandes hombres de Francia. Me animo a creer que usted no conoce la historia de su pueblo.

Foucault lo miró desafiante. Bastaba mucho menos que eso para hacerlo entrar en una polémica sobre la historia de su país. Sólo Voltaire y Rousseau merecían estar enterrados aquí, los demás son impostores, quería decirle a ese hombrecillo. Pero no dijo nada y se tragó las palabras. No estaba ahí para entablar un debate que iba contra sus intereses.

Modulando el tono de voz, al final dijo:

– Sí, esta obra glorifica a los hijos que han hecho a nuestra Patria. El primer hombre que vino a descansar a aquí fue Honoré Mirabeau.

Monsieur Jodot sonrió y de sus ojos salió un brillo de aceptación. Se llevó las manos a sus cejas pobladas y se las enrolló con cuidado mientras estudiaba al físico que tenía frente a él. Carraspeó discretamente y dijo:

– Después de todo está informado, siendo usted un científico.

– Le doy las gracias, eminencia –contestó Foucault mirando para otro lado.

Jean-Bernard sabía la farsa que estaba llevando a cabo y no se sentía muy bien, pero suspiró y pensó para sus adentros: todo sea por la ciencia. De sobra sabía que Honoré Mirabeau había sido desenterrado al año de su entierro cuando se descubrieron sus conspiraciones contra la revolución. Igual que Jean-Paul Marat, igual que el duque de Luynes.

– ¿Tengo esperanzas?

Jodot lo miró con curiosidad.

– Y esa esfera que quiere colgar, ¿qué beneficio traerá? Profanar esta tumba con semejante aparato será deshonroso para Francia.

– Al contrario, enaltecerá a los que aquí yacen y a los que en el futuro vendrán. ¿Sabe usted cuántos experimentos se han hecho en el mundo para demostrar que la Tierra gira?

Jodot levantó las cejas.

– ¿Acaso importa?

– Toda aseveración hecha tiene que ser demostrada. La ciencia está basada en la demostración. Con un simple telescopio podemos ver que la Tierra gira sobre su propio eje, sólo basta mirar a una estrella o a uno de los planetas mayores. Pero desde Galileo, mucha gente ha tratado de demostrar que la Tierra rota sobre su eje sin mirar a las estrellas y no lo ha logrado. Se han hecho más de un centenar de experimentos. Y todos han fallado. Lo que yo propongo es simple. Y usted entrará a la historia de Francia.

Jodot se irguió y metió las manos en las bolsas de su chaleco.

– Tendré que consultarlo con mis superiores.

– ¿El alcalde?

– Primero él.

– ¿Y después?

– Ya lo veremos. ¿Qué necesita para colgar esa esfera?

– Un andamio –contestó el aludido.

Los dos hombres se despidieron con una inclinación de cabeza. Foucault salió a la calle radiante. El viento había disminuido un poco y el cielo estaba más claro. Caminó con pasos lentos por la rue Soufflot, y una vez en el Boulevard Saint-Michel decidió parar una carroza para ir a casa. No había recibido un portazo y eso era un excelente comienzo. Al llegar a su casa lo comentó con Claire, su mujer, y ésta le preparó una comida especial para celebrarlo.

Transcurrieron dos semanas y un citatorio fue enviado a casa de Foucault. El alcalde lo recibiría diez minutos al día siguiente por la tarde. Exigía puntualidad. Foucault esperó pacientemente a que transcurrieran las horas que faltaban para la cita. Vistió su mejor atuendo, tomó un rollo de planos y salió hacia el ayuntamiento. Iba con el corazón retumbando en su pecho.

Era conocido por todos, desde que había caído la monarquía, lo difícil que era tomar decisiones en Francia. Los mandos medios consultaban arriba, los superiores más arriba. Y cuando se subían tantos peldaños, se perdía el interés, se malinterpretaba la consulta original. Las peticiones llegaban a las altas esferas del poder tergiversadas, si es que llegaban. Lo que se necesitaba era un golpe de suerte, encontrar a alguien con un poco de sentido común, que tomara la decisión sin pensar en consultar a su superior. Pero no era fácil, no estaba escrito en ningún papel quién tenía la autoridad de aprobar un extraño experimento en el Panthéon, eso no estaba en los reglamentos, así que la petición podía pasar de manos hasta quedar extraviada. El citatorio era una esperanza.

Al llegar al palacio, dio su nombre y enseñó el citatorio. Lo hicieron esperar algunos minutos y después le pidieron pasar a una sala. El alcalde era un hombre alto pero con una barriga inmensa, con el cabello largo y ralo. En medio de suspiros que parecían gemidos, le señaló con la mano la silla. Jean-Bernard se sentó.



- ¿Usted quiere que le armen un andamio bajo el domo de nuestra necrópolis? ¿Se puede saber su intención?

- Para colgar un péndulo.

- ¿Un qué?

- Una esfera, señor alcalde, que al ser colgada en un punto a lo alto, tiende a pendular.

El acalde bramó, y después se acarició el mentón.

- Monsieur Jodot me ha dicho que la esfera colgará de un hilo.

- Así es. El hilo y la esfera componen el péndulo.

- Como en un reloj.

- Exacto. Mi péndulo será el reloj que Francia obsequiará al mundo. Pero mi ánimo no es sólo ése, es otro. Como la Tierra gira, y no hay fuerza que haga girar al péndulo, entonces ésta girará con respecto a éste. Es decir, la Tierra entera girará alrededor de Francia.

El alcalde, descendiente del conde de Viry, cuyos restos yacían en una cripta del Panthéon, no comprendió la alegoría. Carraspeó y se puso rojo del esfuerzo que tuvo que hacer para serenar la comezón que sentía en la garganta. Vio a Foucault con ojos de sapo y garabateó después cuatro palabras en un papel: péndulo, girar, Francia, reloj. Se levantó y dio por terminada la reunión.

- Lo buscaremos para dar respuesta a su petición.

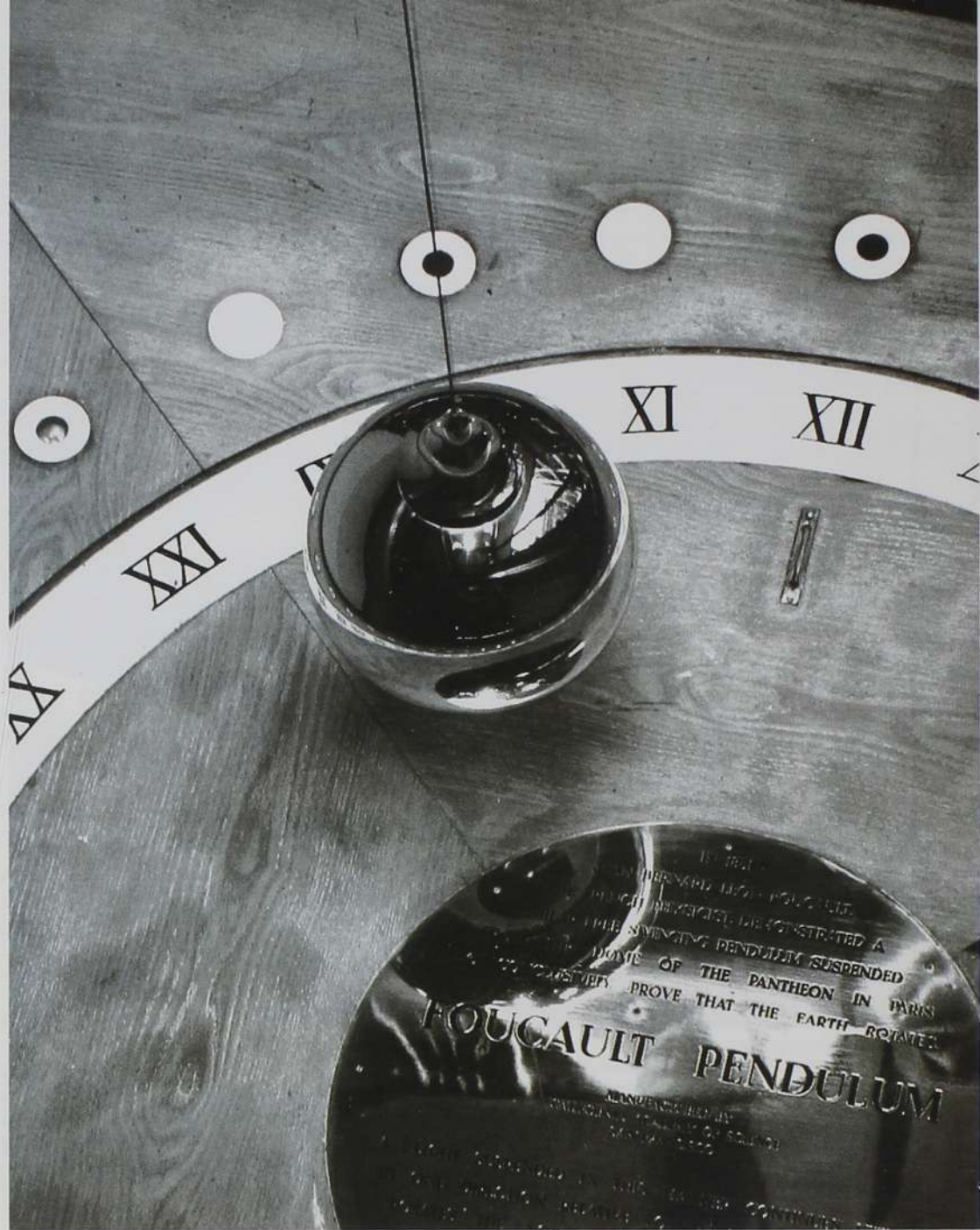
- ¿Tengo esperanzas?

- Ya lo veremos.

- ¿Tiene que consultar con sus superiores, verdad?

- Es el protocolo.

Foucault salió del ayuntamiento deshecho. Era claro que nadie podía tomar la decisión. Todo mundo esperaba que el superior lo hiciera. Siglos de monarquía que no desaparecían en la conciencia del nuevo gobierno. Si Jodot hubiera dicho: cuélguese ese hilo y la



esfera, hubiera sido relevado del cargo al instante. Jean-Bernard lo sabía y ahora estaba seguro de que su petición iba a llegar hasta el mismísimo Bonaparte, presidente de la segunda República Francesa. Por todo París circulaban rumores de que quería disolver la Asamblea Nacional y fundar el segundo Imperio. El sobrino de Napoleón Bonaparte se veía como nuevo emperador de Francia. Faltaban muchas manos para llegar a hasta él, y él ocupado en usurpar el trono. Las esperanzas de Foucault eran nulas.

En lugar de ir directo a casa, se perdió por las calles cercanas al Sena y caminó sin rumbo definido tratando de escapar de su desazón y de una lluvia inminente. Maldecía el invierno, maldecía a la burocracia que obstaculizaba su proyecto. Encontró una taberna y entró. Estaba decidido a embriagarse. La taberna estaba abarrotada de gente. La vida en París se olvidaba con el alcohol. Las guerras interminables con el resto de Europa habían empobrecido a Francia y ahí se daban cita muchos desempleados. Foucault se sentó en una mesa con tres hombres, dos parisinos y uno de la ciudad de Rennes. Los saludó levantando su vaso. Los tres brindaron con él. Cada uno hablaba de sus penas. Foucault escuchó sin impacientarse las frases incoherentes que salían de sus labios. Uno no encontraba empleo por más que tocaba puertas, otro había perdido a su mujer. El hombre de Rennes era más callado, pero al final sacó sus dolencias. También Rennes estaba sumida en la desesperanza. Y a este último, después de tres horas, cuando el local ya estaba a medio bullicio y sólo quedaban ellos dos en la mesa, le habló de la petición para instalar su péndulo. Mi pena, le dijo con una frase que daba lástima, es que no puedo demostrar una idea. El bretón lo escuchó con atención. Foucault le parecía una persona extraña, pero interesante. No entendía ni una palabra, pero le parecía fascinante lo que sus oídos escuchaban. Entre copa y copa, Foucault le explicaba su experimento y le picaba la imaginación. Mareado como estaba con el alcohol, parecía mecerse con la oscilación de la esfera que veía en su mente. Y el piso de la taberna giraba con respecto a éste, tal como el físico le decía. Pasaron las horas y el bretón, que no podía mantenerse en sus cinco sentidos, fue a estrellar su cabeza contra la mesa. Foucault se acercó a su lado y le tomó el pulso. Estaba bien, sólo parecía estar dormido. Tomó el vino que quedaba en su vaso sin pensar en nada y se alistó a marcharse. Pero antes de levantarse, sintió la mano de su compañero de copas sobre su muñeca. Éste abrió los ojos, jaló del cuello de la camisa a Foucault, lo acercó a él, y musitó una frase. Jean-Bernard lo escuchó con atención y no pudo más que sonreír. Dándole un beso en la mejilla, se despidió del bretón y salió a su casa como si solamente hubiera tomado una copa. Estaba seguro que la idea que le habían dado iba a funcionar.

Al día siguiente, salió decidido hacia el Panthéon. La mañana estaba soleada y la gente que se encontraba en

las calles parecía haber salido de otro mundo. La vida en París era otra cuando el sol salía. Al llegar a la necrópolis, no pudo evitar mirar hacia arriba y leer de nuevo la frase en lo alto de las columnas. La frase tenía un mérito: la vanidad que procuraba a los franceses. No importaba quién estaba enterrado ahí adentro, quién merecía estarlo y quién no, la frase quedaba en el inconsciente colectivo y daba fuerza para resistir la difícil vida de la ciudad. Imponer a un pueblo agotado, desde las alturas de un monumento, la idea de que grandes hombres habían forjado la historia de Francia, era similar a lo que la iglesia había hecho desde siempre. Los ahí enterrados eran los santos de la nación.

Foucault se sacudió esos pensamientos y subió los escalones. Entró. Vio a Jodot con un grupo de personas y lo esperó, distrayéndose con la exquisita arquitectura del recinto. No cabía duda de que la antigua iglesia de Sainte-Genevieve, construida por mandato de Luis XV y más tarde convertida en mausoleo por la revolución triunfante, era una obra maestra, uno de los monumentos más bellos de París.

Tan pronto estuvo libre, Jodot se acercó a él y lo saludó cortésmente. Y de inmediato dijo con un dejo de prepotencia:

– He sabido que su petición no ha sido autorizada aún, pero que va por los canales adecuados. No hay que desalentarse. En este tipo de peticiones, la autorización puede tardar meses.

Foucault lo miró con humildad.

– Gracias, eminencia, muchas gracias. Es un honor para mí que se me tome tan en serio. Pero he venido a decirle que no tienen por qué preocuparse más. He recibido carta de Inglaterra. Sir Olivier Reynolds me informa atentamente que ha sido aceptada mi petición allá, y pronto me trasladaré a Londres a realizar mi experimento. Creo que me darán un espacio en el mismísimo palacio de Windsor. Ruego a usted pasar mi profundo agradecimiento a sus superiores.

Jodot quedó perplejo y empezó a sudar. Su frente se humedeció como si estuviera bajo el sol de julio. Los párpados le temblaban visiblemente. No encontraba palabras para expresar su rabia, mezclada con una preocupación profunda. Foucault había dado en el blanco. Si el experimento del péndulo se trasladaba a Londres, Jodot mismo podía quedar sin empleo. Ya veía al alcalde citándolo para decirle que el estado francés necesitaba de hombres que tomaran decisiones. Que estaba despedido por no haber previsto una situación tan bochornosa, que un eminente científico francés tuviera que ir a Londres a realizar un experimento era inadmisibles. No se podía permitir que los ingleses tomaran delantera a Francia.

Se despidieron, y a los pocos minutos Jodot salió presuroso hacia el ayuntamiento. Foucault, guarecido detrás de un árbol a un lado del Panthéon, vio salir al burócrata a toda prisa y sonrió. Caminó con alegría hacia su trabajo.

Pasaron menos de tres días cuando Jodot mismo tocó a la puerta de su casa. Foucault abrió, Jodot le sonrió como si fueran grandes amigos y dijo sin preámbulos:

– Monsieur León Foucault, veinte hombres lo esperan frente al Panthéon para construir su andamio. Nos ponemos a su disposición.

Foucault, con una alegría inmensa, le tendió la mano, lo invitó a entrar y le presentó a Claire. Tomaron una copa de vino para celebrar la noticia y salieron hacia el Panthéon. Cuando llegaron, la cuadrilla de trabajadores apilaba las vigas bajo el domo. Foucault, versado en ingeniería, de inmediato dirigió a los hombres. El andamio quedó listo en menos de una semana. Ideó un soporte para colgar el hilo y el péndulo quedó en posición. El andamio fue retirado un sábado a finales de febrero. Al lunes siguiente, Foucault pidió a Jodot que lo dejara solo para hacer las pruebas finales y éste quedó satisfecho con los resultados. Foucault fue en su busca y dijo:

– Estoy listo. Dejo a usted proceder como mejor le convenga. Puedo invitar a mis colegas del Observatorio a una ceremonia con tintes científicos, o bien puede hacer una atenta invitación a quien considere conveniente.

– Desde luego lo segundo, desde luego. Diga usted la fecha y reuniré aquí a los más ilustres personajes de Francia. Ayer mismo me he dado a la tarea de redactar la invitación. Dice simplemente así: *Vous êtes invités à venir voir tourner la Terre*. Si el mundo rota, y nosotros no lo sentimos, que sea su instrumento que nos lo muestre.

Foucault lo miró con una mezcla de curiosidad y burla.

– ¿Qué le parece dentro de una semana?

– Me parece estupendo, así tendré tiempo de elaborar las invitaciones y despacharlas.

– ¿Invitará usted a Bonaparte?

– Desde luego, nuestro presidente no puede faltar. Además, quedará registrado en la historia que él fue quien solicitó esta demostración.

Foucault frunció el ceño:

– ¿Cómo dice?

– Eso en nada lo perjudica, profesor –contestó el burócrata.

– Está bien, lo dejaremos así. Todo sea por la ciencia. Jodot sonrió nervioso.

El 6 de marzo de 1851 el Panthéon se llenó de gente: Políticos, intelectuales, sacerdotes y advenedizos de toda especie conectados con las esferas del poder. Además de sus colegas y amigos Foucault sólo reconoció a Victor Hugo, a Monseñor Sibour, arzobispo de París, y al alcalde del ayuntamiento. Bonaparte no estaba, para su beneplácito. Se lo comentó a Claire:

– Mejor que no esté. Hubiera tardado tiempo en olvidar que mi experimento se hizo en su presencia.

– Calla, Jean-Bernard, te van a escuchar. Victor Hugo lo apoya, recuérdalo.

– Lo apoya porque cree en la República, pero cuando muestre sus verdaderas intenciones dejará de hacerlo.

Monseñor Sibour se acercó lentamente a Foucault, como alguien se acerca a una persona recién absuelta, y dijo:

– Veo que finalmente consiguió lo que quería, profesor Foucault.

– Así es, Monseñor. Este domo es más que formidable.

El arzobispo sonrió con una sonrisa apretada.

Victor Hugo, que en esos años había dejado de escribir para dedicarse por entero a la política, fue a estrecharle la mano.

Foucault expresó en su rostro el placer por conocer en persona a tan afamado escritor.

– Es un maravilloso instrumento –le dijo Victor Hugo–, simple pero a la vez poderoso. Ocultar la ignorancia envilece el espíritu, dijo Pascal, así que dígame por favor, ¿en qué punto de la Tierra debería ser colgada esta esfera para no dar el efecto que hoy vamos a presenciar?

Foucault sonrió levemente y no tardó en contestar:

– ¡En el ecuador! A partir de ahí, entre mayor latitud más el efecto. Si el péndulo estuviera en los polos, la rotación de éste sería idéntica a la terrestre. Pero en sentido contrario.

– Espléndido. Este experimento suyo dará la vuelta al mundo. Literalmente.

Foucault entendió el juego de palabras y volvió a sonreír.

Todo estaba listo. A las once de la mañana, los ahí reunidos hicieron un círculo alrededor de la bola de 28 kilos de peso. Foucault se aclaró la garganta y, hablando en voz alta, explicó en términos simples los propósitos de su péndulo.

– En un día, la Tierra gira sobre su eje 360 grados, es decir, una vuelta completa. Eso ustedes ya lo saben, por eso tenemos días y noches. El punto de apoyo de este péndulo, allá en lo alto, girará con ella. Pero la bola no tiene por qué hacerlo. Las dos únicas fuerzas que actúan sobre ella están en el plano de oscilación: la tensión del hilo y la gravedad. Así que este plano no dejará de ser siempre el mismo. Y entonces, veremos que el piso de este recinto, la Tierra misma, girará lentamente. En una hora, según mis cálculos, el piso donde estamos parados girará con respecto a la oscilación del péndulo, once grados, casi equivalentes a una rebanada de pastel en una fiesta de 33 invitados. Pocos, pero suficientes para observarlos.

Se levantó un murmullo. Los asistentes se veían unos a otros. Daban crédito a las palabras que escuchaban porque el domo del Panthéon era imponente, porque los ahí reunidos eran todos personalidades de Francia, los vivos y los ahí enterrados, porque el brillo de la esfera que colgaba del hilo era impecable, por el hilo mismo, largo y recto. Foucault caminó hacia la bola que guardaba equilibrio en el centro del círculo, puso las

manos sobre ella y la empujó con sumo cuidado dos metros, como si estuviera haciendo lo mismo a un niño en el columpio de un parque. Después, se hizo a un lado y la soltó. Antes de la primera oscilación, se levantó en el recinto un murmullo mucho más grande que el primero. Todavía no ocurría nada y la gente ya estaba maravillada. La primera oscilación de la esfera seguía una línea marcada en el piso de mármol, una línea roja que Foucault había hecho esa mañana. Todos esperaban con entusiasmo a que la línea roja se separara del plano de oscilación del péndulo. Bromeaban entre ellos, los que habían entendido la explicación del físico explicaban a los que no, hablaban filosóficamente del experimento, se maravillaban de que no se le hubiera

ocurrido a nadie en los últimos doscientos años.

Y al cabo de una hora, la línea roja había rotado un poco más de diez grados con respecto a la trayectoria imposible que la esfera hacía. Todos estaban felices. Reían como si cada uno mostrara al otro lo razonable del suceso, sus fantasías se disparaban, se sentían parte de la historia. Víctor Hugo, que estaba a un lado del arzobispo, levantó la frente ligeramente, llevó la mano derecha a su barba, sonrió y dijo, recordando la famosa frase de Galileo cuando la inquisición lo hizo detractarse de su teoría heliocéntrica:

- ¿Cómo ve, Monseñor? Y sin embargo, se mueve.

París, 06/2007. ●





¿Es terrestre la vida extraterrestre?

EN 1984, EN LA ANTÁRTIDA FUE DESCUBIERTO UN METEORITO QUE EN SU INTERIOR RESGUARDABA BACTERIAS. SE PUDO ESTABLECER QUE LA ROCA PROVENÍA DE MARTE, PLANETA QUE EN UN PASADO REMOTO PUDO ALBERGAR VIDA, SEGÚN SUGIEREN FORMACIONES GEOLÓGICAS QUE PARECEN SER EL RESULTADO DE LA EROSIÓN CAUSADA POR EL FLUJO DE AGUA LÍQUIDA. ESTO LLAMA A REVISAR, NUEVAMENTE, LA VALIDEZ DE LA YA MUY ANTIGUA TEORÍA DE LA PANSPERMIA.

Rodrigo Huerta Quintanilla
Manuel Rodríguez Achach

Aun cuando el origen de la vida en la Tierra es un tema todavía debatido, el grueso de la comunidad científica acepta que la vida terrestre se originó a través de procesos básicamente aleatorios que generaron los primeros bloques elementales de la vida. A partir de ese momento, y en el transcurso de cientos de millones de años, las fuerzas de la evolución darwiniana nos llevaron a la gran diversidad biológica que observamos actualmente.

Sin embargo, a lo largo de la historia han surgido diversas teorías alternativas sobre los orígenes de la vida en nuestro planeta. Una de las más conocidas es la teoría de la panspermia, cuyos orígenes se remontan a Anaxágoras en el siglo V, aunque fue popularizada en

el siglo XIX por varios científicos, incluyendo a Hermann von Helmholtz, y más tarde, a principios del XX, por Svante Arrhenius [1], así como por Francis Crick, codescubridor de la estructura del ADN. Por supuesto, estas ideas también han tenido proponentes de no tan buena reputación, pero no debemos perder de vista el hecho de que se trata de una teoría seria, que no debe ignorarse al considerar la distribución y la evolución de la vida en el universo. En su forma más común, esta hipótesis sostiene que la vida llegó a la Tierra con meteoritos que trajeron formas de vida microscópicas desde su planeta de origen, las cuales se desarrollaron y evolucionaron en el ambiente propicio

RODRIGO HUERTA QUINTANILLA Físico egresado de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Ingresó al Departamento de Física del Cinvestav, donde se graduó de maestro en 1978 y de doctor en 1981. Realizó una estancia posdoctoral en varios lugares de Estados Unidos y, al volver a México, se incorporó nuevamente al Departamento de Física, donde laboró hasta 1992, año en que se trasladó a la Unidad Médica del Cinvestav. Actualmente es investigador 3D y pertenece al Sistema Nacional de Investigadores (nivel 3). Del área de partículas elementales se pasó a investigar temas relacionados con sistemas complejos y sus aplicaciones en la economía y la biología.
rhuerta@mda.cinvestav.mx

MANUEL RODRÍGUEZ ACHACH Ingeniero mecánico del Instituto Tecnológico de Mérida. Es maestro y doctor en Ciencias y en Física Aplicada por Cinvestav-Mérida. Realizó el posdoctorado en el Instituto Tecnológico de Nuevo México. Actualmente es docente de tiempo completo, titular C en la Facultad de Física e Inteligencia Artificial de la Universidad Veracruzana. Tiene doce publicaciones internacionales y pertenece al Sistema Nacional de Investigadores (nivel 1).
achach@mda.cinvestav.mx

de la Tierra. La radiopanspermia sostiene que los microorganismos pueden viajar propulsados por la presión de la radiación solar.

En tiempos más modernos, dichas ideas perdieron fuerza al conocerse las severas condiciones de temperatura y radiación existentes en el espacio interestelar que atraviesan los asteroides, las cuales harían muy difícil la supervivencia de los microorganismos. Sin embargo, recientemente la panspermia recibió nuevos bríos, cuando un grupo de científicos de la Fundación Nacional de Ciencia de Estados Unidos descubrió, en 1984, un meteorito en la Antártida, en cuyo interior se encontraron lo que parecían ser bacterias [2]. También se pudo establecer que esa roca provenía de Marte. El hecho de que en Marte exista agua, y de que en su superficie se han encontrado formaciones geológicas que parecen ser el resultado de la erosión causada por el flujo de agua líquida, sugieren que en un pasado remoto Marte pudo albergar vida. Y ahora que se encuentra un meteorito proveniente de ese planeta en cuyo interior parece haber bacterias, resulta natural revisar nuevamente la validez de la teoría de la panspermia.

Desde un punto de vista científico, resulta interesante preguntarse qué tan probable es que haya por ahí en el espacio exterior rocas que contengan organismos microscópicos a la espera de llegar a un planeta que las acoja. ¿Cómo es que esos meteoritos están allí?, ¿qué tan lejos pueden llegar? Veamos que, de acuerdo con Brett Gladman de la Universidad de Columbia Británica en Vancouver (Canadá), el impacto de un cometa o meteorito de al menos 10 kilómetros de diámetro en un planeta como el nuestro sería capaz de lanzar al espacio exterior aproximadamente 600 millones de rocas terrestres [3].

Eventos de tal magnitud han sucedido en la Tierra en la antigüedad, tal como el impacto que formó el cráter de Chichchulub, que se cree dio origen a la extinción de los dinosaurios. Se estima que meteoritos de tal tamaño impactan la Tierra aproximadamente cada 10 millones de años. Impactos de meteoritos de menor tamaño también pueden enviar material al espacio en menor cantidad, pero son mucho más frecuentes [4].

Si consideramos que la vida terrestre existe desde los inicios del periodo Precámbrico, hace unos 3 500 millones de años, resulta que ha habido del orden de 350 impactos capaces de enviar material terrestre al espacio. Esto nos da un total conservador de 350×600 millones = 210 mil millones de rocas que han salido al espacio provenientes de la Tierra (por supuesto, otros planetas parecidos al nuestro contribuyen con una cantidad similar al total de rocas que viajan por la galaxia).

Se sabe que la velocidad de estas rocas —ahora asteroides— es de unos 20 kilómetros por segundo en promedio. Viajando a esta velocidad, las rocas del primer impacto sobre la Tierra hace unos 3 500 millones de años,

actualmente deben estar a una distancia de alrededor de 2.1 millones de millones de millones de kilómetros, lo que equivale a unos 200 mil años luz (un año luz es la distancia que la luz recorre en un año). Nuestra galaxia, la Vía Láctea, tiene un diámetro de 100 mil años luz, por lo que concluimos que aquellas primeras rocas que salieron de la Tierra en la era Precámbrica ya han cubierto la totalidad de nuestra galaxia e incluso algunas la pudieran haber abandonado.

Por supuesto que aún queda en duda si el material vivo que pudiera estar presente en estas rocas pudo sobrevivir durante tanto tiempo en las condiciones extremas del espacio y todavía sobrevivir los rigores del impacto en el planeta receptor. Algunos cálculos teóricos [4] y experimentales [5] muestran que los microbios presentes en muestras de material terrestre podrían sobrevivir a la radiación interestelar por decenas e incluso cientos de millones de años.

El punto importante a tomar en cuenta de la argumentación aquí presentada es que la existencia de asteroides portadores de vida no es una rareza. Todo lo contrario, los números muestran que deben existir en grandes cantidades, sobre todo si tomamos en cuenta que la Vía Láctea alberga alrededor del 100 mil millones de estrellas como nuestro Sol, muchas de las cuales pueden contener planetas similares a la Tierra, en donde exista vida.

En este sentido, aun cuando la aparición de la vida pueda ser un fenómeno extremadamente raro, dado que tienen que coincidir al mismo tiempo muchos factores que la promuevan, basta con que ésta haya aparecido en uno solo de los 100 mil millones de sistemas solares de la Vía Láctea, para que después, por el efecto de los impactos de meteoritos, ésta se disemine por toda la galaxia.

Si realmente la vida puede pasar de planeta en planeta a través de la galaxia, depende en última instancia de la resistencia de los microorganismos al viaje interestelar. Esto podría corroborarse si algún día encontramos un meteorito como el que encontró Roberta Score en la Antártida, pero que albergue bacterias vivas. Llegado el momento tendremos que averiguar si la vida arribó a la Tierra en un meteorito o es la Tierra la que ha sembrado la vida en otros planetas. La pregunta que surge ahora es: ¿cuál es el “planeta origen” de la vida en la Vía Láctea? ●

[Referencias]

- [1] Arrhenius, S. *The quest for extraterrestrial life*, University Science Books, California, 1980.
- [2] McKay, David S. et al. Search for Past Life on Mars: Possible Relic Biogenic Activity in Martian Meteorite ALH84001. *Science*, vol. 273, núm. 5277, pp. 924-930, 1996.
- [3] Gladman, B.J. et al. The Exchange of Impact Ejecta Between Terrestrial Planets. *Science*, vol. 271, pp. 1387-1392, 1996.
- [4] Mileikowsky, C. et al. Natural Transfer of Viable Microbes in Space. 1. From Mars to Earth and Earth to Mars. *Icarus*, vol. 145, pp. 391-427, 2000.
- [5] Weber, P. y J.M. Greenberg. Can Spores Survive in Interstellar Space? *Nature*, vol. 316, pp. 403-407, 1985.

Noticias Cinvestav

Nombramientos

SECRETARIOS

C.P. Guillermo Augusto Tena y Pérez
Secretario Administrativo

DIRECTORES DE UNIDAD

Dr. Luis Gerardo Trápaga
Cinvestav-Querétaro

JEFES DE DEPARTAMENTO

Dr. David Francisco Block Sevilla
Investigaciones Educativas
Cinvestav-Sede Sur

Dr. Romeo de Coss Gómez
Física Aplicada
Cinvestav-Mérida

Dr. José Antonio Moreno Cadenas
Ingeniería Eléctrica

Dr. Emiliano Fernando Navarro García
Biología Celular

Dra. Gabriela Olmedo Álvarez
Ingeniería Genética
Cinvestav-Campus Guanajuato

COORDINADORES ACADÉMICOS

Dr. Rafael Ramírez Bon
Cinvestav-Querétaro

Dra. Ma. Teresa Castillo Burguete
Ecología Humana
Cinvestav-Mérida

Dra. Susana Ruth Quintanilla Osorio
Investigaciones Educativas
Cinvestav-Sede Sur

JEFES DE SECCIÓN

Dr. Francisco Javier Camacho Arroyo
Farmacología

Dr. Mariano Enrique Cebrián García
Toxicología

Dr. Raúl García Ruíz
Comunicaciones

Dr. Víctor Manuel Sánchez Reséndiz
Electrónica del Estado Sólido

Dr. Roberto Muñoz Guerrero
Bioelectrónica

Dr. Gerardo Silva Navarro
Mecatrónica

Ing. Jorge Suárez Díaz
Proyectos de Ingeniería

Premios

PRESIDENTE DEL THIRD MEETING OF THE INTERAMERICAN INSTITUTE FOR COOPERATION ON AGRICULTURE TECHNICAL LEADERSHIP AND KNOWLEDGE MANAGEMENT DIRECTORATE BIOTECHNOLOGY AND BIOSAFETY, nombramiento hecho al Dr. Marco Antonio Meraz Ríos.

PREMIO 2007ICT XI ROBERT L. DIXON, otorgado a la estudiante de Doctorado Norma Pérez Herrera, de la Sección Externa de Toxicología, por el trabajo titulado: "PON1Q192R Polymorphism and Its Effects on Semen Quality in Mexican Agricultural Workers", bajo la tutoría de la Dra. Ma. Betzabet Quintanilla Vega.

TERCER LUGAR DEL 4º PREMIO MALTA CLEYTON A LA INNOVACIÓN EN NUTRICIÓN ANIMAL, obtenido por el Dr. Miguel A. Olvera Novoa, del Departamento de Recursos del Mar, del Cinvestav-Mérida.

MENTIÓN HONORÍFICA EN EL ÁREA DE BIOTECNOLOGÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS EN EL IV ENCUESTRO "PARTICIPACIÓN DE LA MUJER EN CIENCIA", concedida a la Dra. Emma Gloria Ramos Ramírez, del Departamento de Biotecnología y Bioingeniería, por su contribución al mejoramiento e innovación de la industria de los alimentos.

ACCMAL LABORATORY ANIMAL SPECIALIST AWARD, otorgado al MZV Rafael Leyva Muñoz por el American Regional Committee of the International Council on Laboratory Animal Science (ICLAS), para asistir a la reunión anual de la American Association for

Laboratory Animal Science (AALAS); considerada la reunión más importante de especialistas en animales de laboratorio en el mundo.

CONSULTOR ESPECIALISTA DE LA ASSOCIATION FOR ASSESSMENT AND ACCREDITATION FOR LABORATORY ANIMAL CARE INTERNATIONAL (AAALAC INTERNATIONAL), nombramiento dado al Dr. Jorge Fernández Hernández, que promueve la excelencia entre los resultados científicos en el uso de animales y su bienestar.

NUEVOS MIEMBROS DE LA ACDEMA MEXICANA DE CIENCIAS

Ciencias Exactas

Dr. Merced Montesinos Velásquez
Departamento de Física

Dr. Aldo Humberto Romero Castro
Unidad Querétaro

Dr. Abdel Pérez Lorenzana
Departamento de Física

Ciencias Naturales

Dr. Agustín Guerrero González
Departamento de Bioquímica

Dr. Jesús Ernesto Arias González
Departamento de Recursos del Mar

Contribuciones

Las contribuciones para la revista *Cinvestav* deberán enviarse a las oficinas centrales o a la dirección de correo electrónico: msantos@cinvestav.mx

Textos

- Deben entregarse en formato de Word con extensión .doc o .rtf, vía correo electrónico o en CD-ROM.
- Cuando se trate de artículos de investigación; la extensión máxima será de 15 cuartillas, los artículos de difusión tendrán 10 cuartillas y Noticias un aproximado de 50 palabras por nota.
- Si el texto incluye tablas, éstas se entregarán en archivo por separado, en texto corrido y con una impresión adjunta que muestre la forma en que debe quedar la tabla. Además, en el original debe señalarse su ubicación. La indicación también es válida para esquemas y cuadros.
- Todo artículo requiere ilustraciones o fotografías para su inserción (ver imágenes y gráficas), acompañadas de un comentario que las identifique.
- Las notas se incluirán al final del trabajo, antes de la bibliografía o de las referencias debidamente numeradas.
- Todas las siglas y los acrónimos empleados deben venir en su forma desatada (p. ej. Conacyt, Consejo Nacional para la Ciencia y la Tecnología).

- Las referencias deben apegarse a los modelos siguientes:

Libro:

Wiener, Norbert, *Cibernética: o el control y la comunicación en animales y máquinas*, Barcelona, Tusquets, 2003.

Artículo de revista:

Ádem, José, 1991, "Algunas consideraciones sobre la prensa en México", *Avance y Perspectiva*, vol. 10, abril-junio, pp. 168-170.

Se sugiere que las referencias sean cuidadosamente revisadas por los autores y que los títulos de los artículos y los nombres de las publicaciones no se abrevien.

Resumen curricular

Todos los textos deben incluir datos del autor: nombre completo, grado académico, adscripción y cargo que desempeña, teléfono y correo electrónico. El resumen no debe rebasar más de 50 palabras.

Imágenes y gráficas

Deben venir en archivos por separado tipo JPG o TIFF, a 300 dpi de resolución con tamaño de 20 cm de base (como mínimo). Las imágenes tomadas con cámaras digitales deberán tener la resolución máxima.
NO SE ACEPTARÁN IMÁGENES DE INTERNET.

Cinvestav

revista@cinvestav.mx
T/F (55) 50 61 33 71
www.cinvestav.mx/publicaciones
Av. Instituto Politécnico Nacional 2508
San Pedro Zacatenco, C.P. 07360
México, DF, México

[Nota]

En breve aparecerá una versión electrónica de la revista *Cinvestav*, donde los lectores tendrán la oportunidad de contribuir con sus reflexiones acerca de los temas que se abordan en los artículos.

La Tecnología y la Ciencia desde el Cinvestav



Cinvestav



La Tecnología y la Ciencia desde el Cinvestav

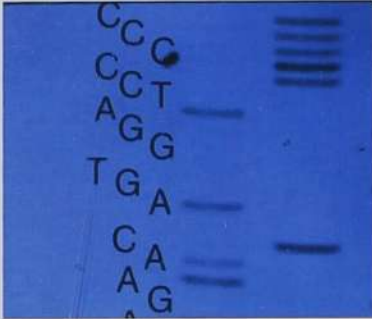


Editora
Dra. Angelina Flores Parra

Informes y Adquisición

Tel. 5061 3800, ext. 4067 Fax. 5061 3389

El Cinvestav en fotos



Cinvestav-Guanajuato