



# Innovación y Ciencia



Colombia \$15.000





[áce-áce]

Es una entidad sin ánimo de lucro,  
fundada el 9 de octubre de 1970,  
que trabaja por el fomento de la  
Ciencia y la Tecnología como base  
del desarrollo social.

ACAC desarrolla diversos programas  
cuyos fines son

**integrar** a la comunidad científica

y reforzar su compromiso con el

estudio de los problemas del país,

**difundir** el conocimiento científico,

promover y apoyar la

**investigación** Científica y Tecnológica

e impulsar programas de apropiación social

de Ciencia y Tecnología.

Correo electrónico [acac@acac.org.co](mailto:acac@acac.org.co)

**[www.acac.org.co](http://www.acac.org.co)**

Revista Innovación y Ciencia  
Volumen XVII Nº 1 - 2010

**PUBLICACIÓN DE:**

Asociación Colombiana para el Avance  
de la Ciencia, ACAC

**JUNTA DIRECTIVA ACAC**

Eduardo Posada Flórez

Raúl Joya O.

Rubén Ardila A.

Guillermo Hoyos V.

Carlos Comedán P.

Marcelo Rivera R.

Elena Stanshenko

Horacio Torres S.

Helena Groot

Centro Internacional de Entrenamiento e

Investigaciones Médicas - CIOEM

Academia Colombiana de Ciencias Exactas,

Físicas y Naturales - Acefyn

Centro Interactivo Maloka

**PRESIDENTE**

Eduardo Posada Flórez

**DIRECTORA EJECUTIVA**

Carmen Helena Carvajal López

**EDITOR**

Germán Cubillos Alonso

**COORDINADORA EDITORIAL**

María Carolina Suárez S.

**COMITÉ EDITORIAL**

Eduardo Posada Flórez

Carmen Helena Carvajal

Elizabeth Castañeda

Jordi Camerón

Marcelo Rivera

**CONSEJO EDITORIAL INTERNACIONAL**

José Antonio López Cerro

Alejandro Franco García

PRODUCCIÓN, DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

Susana Camá M.

**CORRECCIÓN DE ESTILO**

Elipondul

**FOTOGRAFÍA**

Autores y Banco de imágenes

**IMPRESIÓN**

Nomos Impresores

**COMERCIALIZACIÓN**

Departamento de Mercadeo de ACAC

**DISTRIBUCIÓN**

Distribuidoras Unidas



**CAROLINA**  
Análisis de línea perteneciente a la Expedición Botánica.  
Intervención digital: Susana Camá

Innovación y Ciencia es la revista de divulgación científica y tecnológica  
de la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia, ACAC.

**DERECHOS RESERVADOS**

Prohibida su reproducción parcial o total sin autorización expresa del  
Comité Editorial. La publicación no es responsable legal del contenido de  
la publicación de cada edición.

Los conceptos expresados en los artículos no reflejan necesariamente la  
opinión de los editores.

Resolución Ministerio de Gobierno No. 5447 del 9 de octubre de 1992  
ISSN 0020-5140

Tarifa postal reducida No. Nº 2009-194 4 -72 La Red Postal de Colombia,  
vence 31 de diciembre de 2009

ACAC Calle 44 Nº 45-62, Unidad Camilo Torres Bloque C, Módulo 3

Teléfonos: 3150734 - 3155900

Fax: 2216990

Email: [innovacionyciencia@acac.org.co](mailto:innovacionyciencia@acac.org.co)

Bogotá, D.C. - Colombia

Precio de venta al público: \$12.000

Suscripción (4 números al año): \$50.000 para Bogotá,

\$55.000 fuera de Bogotá.

<b>Biodiversidad</b> ← →	<b>8</b>	
2010 Año Internacional de la Biodiversidad ¿Cita fallida para detener la pérdida de biodiversidad? GERMÁN I. ANDRADE		
<b>Biodiversidad microbiana y manantiales salinos,</b> ← →	<b>17</b>	
¡un mundo para explorar! SANDRA BAENA Y CAROLINA DÍAZ		
<b>Ver para conocer, conocer para preservar</b> ← →	<b>26</b>	
Corredor jaguar S. WINTER-PANTHERA		
<b>Lingüística aplicada</b> ← →	<b>28</b>	
Integración de lengua y cultura Un dilema central en la enseñanza de lenguas extranjeras NANCY AGRAY VARGAS		

<b>Divulgación de la ciencia</b> ← →	<b>40</b>	
¿Quién sabe sobre qué investiga usted, doctor? GERMÁN CUBILLOS ALONSO		
<b>Virus y cibervirus</b> ← →	<b>50</b>	
Parásitos cibernéticos obligados Virus biológicos y virus informáticos llaman la atención de los virólogos MARÍA FERNANDA GUTIÉRREZ		
<b>Reporte investigativo</b> ← →	<b>57</b>	
La investigación en productos naturales vegetales LUIS ENRIQUE CUCA SUÁREZ, CARLOS ANDRÉS COY BARRERA Y ERICSSON DAVID COY BARRERA		
<b>Páginas web</b> ← →	<b>72</b>	

Por lo tanto, los colombianos estarán enfrentados a una de las elecciones presidenciales más importantes de los últimos tiempos, de cuyo resultado va a depender el rumbo del país durante varias décadas.

Colombia ha tenido en los últimos años un proceso de estabilización que ha permitido un notable incremento de la inversión, tanto nacional como extranjera, una mayor cobertura de la educación y, en general, la mejoría de los indicadores económicos.

En lo que a ciencia y tecnología se refiere, un logro indiscutible ha sido la Ley 1286 de 2009, que convierte a Colciencias en un Departamento Administrativo; la creación del Fondo Francisco José de Caldas como instrumento financiero; y la muy reciente aprobación por el CONPES de un crédito del Banco Interamericano de Desarrollo, BID, y el Banco Mundial, por un total de 500 millones de dólares que deberán ejecutarse en los próximos años.

A pesar de esos notables logros, mucho es el camino que resta por recorrer y enorme la responsabilidad que en ese aspecto le queda al próximo Gobierno. Independientemente de aspectos tan importantes como el de la infraestructura, la salud o la seguridad, la ciencia, la tecnología y la innovación deben constituirse en elementos centrales de su política.

Uno de los aspectos fundamentales en ese sentido es la necesidad urgente de modernizar el sector productivo nacional, para incrementar su competitividad y la variedad de sus productos. En ese sentido, es indispensable invertir muchos más recursos en la investigación agrícola, fortaleciendo la infraestructura ya existente y desarrollando una mayor capacidad para la aplicación de tecnologías avanzadas como la nanotecnología o la biología molecular. Del mismo modo, es urgente promover una reconversión del sector industrial, apoyando la modernización de las empresas existentes y, sobre todo, la creación de nuevos emprendimientos de base tecnológica en áreas como la electrónica, la biotecnología o los nuevos materiales.

El país posee, en las universidades y centros de investigación, una importante capacidad para llevar a cabo iniciativas de esa índole. Afortunadamente existen numerosos ejemplos de dicha afirmación, que demuestran a las claras la creatividad de nuestros compatriotas y las oportunidades que tenemos para competir con éxito aun en sectores de muy alto nivel científico y tecnológico.

Es ingenuo pensar que podamos afrontar problemas tan serios como el cambio climático, las enfermedades tropicales o la crisis energética, importando, sin beneficio de inventario, tecnologías desarrolladas en otras latitudes, que se adaptan mal a nuestras particularidades climáticas, topográficas o culturales. Los ejemplos de errores cometidos en el pasado por ese motivo son innumerables y su costo para el país, incalculable.

Es por eso que debemos además fortalecer la educación en ciencias en todos los niveles, y la capacidad nacional para producir y aplicar conocimiento, no solo porque cualquier ciudadano del siglo XXI debe poseer una base científica sólida como parte de su bagaje cultural, sino porque esa formación permite pensar de manera racional y prepara para afrontar con éxito los numerosos retos de la vida moderna.

Ojalá sepamos elegir de manera acertada al candidato con mayor claridad en esos temas, indispensables para garantizar al país un verdadero desarrollo.

**EDUARDO POSADA FLÓREZ**

Presidente

**CARMEN MILENA CARYVAL LÓPEZ**

Directora Ejecutiva

Especificaciones para la presentación de artículos a la revista

# Innovación y Ciencia

## TEMAS

Ciencias naturales, físicas y sociales, tecnología, política científica y tecnológica, historia de la ciencia.

## LENGUAJE

- Claro, ágil y de fácil comprensión para el lector no especializado. Es importante que el título sea atractivo además de significativo.
- Los términos técnicos deben ir seguidos de una definición sencilla entre paréntesis o entre comas; ejemplo: "... en general se registra taquipnea (respiración rápida), cianosis (coloración azulosa de mucosas y partes más claras de piel)...".
- Cuando se incluyan siglas o símbolos, la primera mención debe decodificarse; ejemplo: "En medicina humana se ha acuñado la expresión síndrome de dificultad respiratoria del adulto (SDRA)".
- Solo deben usarse abreviaturas y expresiones matemáticas en casos estrictamente necesarios.

## EXTENSIÓN

Máximo 10 páginas tamaño carta en letra Arial 12, a doble espacio (excluyendo ilustraciones y cuadros).

## FORMATO

Texto impreso y copia en CD o disquete, preferiblemente en formato Word.

## MATERIAL GRÁFICO

Es importante anexar el mayor número posible de ilustraciones, fotografías y diapositivas, acompañadas de notas explicativas (pie de foto) y sugerencias de ubicación dentro del texto. Este material puede incluir:

- Fotografías originales en papel fotográfico o diapositiva.
- Fotografías en versión digital de alta resolución (300 ppi) en formato .tif, .jpg o .eps.
- Esquemas gráficos explicativos (versión impresa o digital).
- Tablas o cuadros sin demasiadas columnas.
- El material fotográfico no debe ser tomado de libros, revistas o internet y debe indicarse su autoría o fuente, si es necesario.
- Del material recibido se seleccionará el de mayor calidad para su publicación y una vez editada la revista, el material será devuelto al autor.

## REFERENCIAS

En el texto, las referencias se deben citar con el apellido del primer autor y la fecha de publicación. El listado de referencias se debe organizar en orden alfabético, con el siguiente formato:

### 1. Artículo de revista científica:

Lee, M. R.; Ho, D. D.; Gurney, M. E. (1987). Functional Interaction and Partial Homology Between Human Immunodeficiency Virus and Neurokinin, en *Science* 237, 1987, pp. 1047-1051.

### 2. Artículo de libro:

Day, R. A. (1990). *Cómo escribir y publicar trabajos científicos*. Washington, Organización Panamericana de la Salud.

## RESUMEN

Descripción breve (5 oraciones cortas) del tópico central del artículo, para su inclusión en el índice de la revista.

## IDENTIFICACIÓN DEL AUTOR

- Nombre
- Títulos
- Cargo actual
- Correo electrónico
- Dirección postal

## RECOMENDACIONES

Los artículos que hayan aparecido en otras publicaciones, informes de investigación en curso y aquellos textos cuyos temas sean muy especializados y de interés exclusivamente local no serán considerados para publicación.

Asociación Colombiana  
para el Avance de la Ciencia -ACAC-  
Calle 44 N° 45 - 67 Unidad Camilo Torres  
Bloque C • Módulo 3

Fax: 2216950 • 2219953 • Tels: 3555898 • 3550734  
Innovacionyciencia@acac.org.co  
Bogotá, DC, Colombia

# 2010 AÑO INTERNACIONAL DE LA BIODIVERSIDAD

¿CITA FALLIDA PARA DETENER  
LA PÉRDIDA DE BIODIVERSIDAD?\*



Foto: C. Suarez Carré

\* Eugenia Ponce de León, directora del Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, abrió el espacio para estas reflexiones en el marco del proceso de reingeniería institucional. Y la Fundación Overbrook hizo posible el desarrollo de este manuscrito.

GERMÁN I. ANDRADE

FACULTAD DE ADMINISTRACIÓN  
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
FUNDACIÓN HUMEDALES

gandrade@uniandes.edu.co

**E**l Convenio de Diversidad Biológica (CDB) fue uno de los grandes logros de la Cumbre de la Tierra atendida en Río de Janeiro en 1992, por 108 jefes de Estado. Tal voluntad política sin precedentes fue seguida de una alta dosis de optimismo. En la sexta conferencia de las partes del CDB se acordó que los países deberían alcanzar, para 2010, una reducción significativa de la tasa de pérdida de biodiversidad, y además se estableció una cuenta regresiva para alcanzar este punto. Hoy sabemos que la pérdida de biodiversidad no solo ha aumentado, sino que las causas se han multiplicado y escalado. Entre ellas, el incremento en las transformaciones del uso de la tierra y la modificación de espacios naturales, la sobreexplotación de recursos biológicos, el aumento de invasiones biológicas y el cambio climático. Por eso la pregunta urgente hoy no es solo por la pérdida de biodiversidad, sino por la forma como se plantean las metas en la conservación. ¿Bastaría aumentar el plazo y reforzar las medidas de control, esperando que en el año 2020 sí pudiéramos celebrar? Más bien podría pensarse que la forma como se están planteando las metas de conservación es errada o, al menos, insuficiente, y que es necesaria una nueva óptica para enfrentar el asunto, no solo por prudencia política meses después del fracaso de Copenhague, sino por cuestión básica de realismo ecológico y político.

## ¿Qué es biodiversidad?

Biodiversidad, también conocida como diversidad biológica, hace referencia a la variedad de seres vivos y sus formas de organización, según procesos naturales y como resultado de la influencia del ser humano. Comprende la heterogeneidad de ecosistemas, comunidades bióticas, hábitats, poblaciones y la variabilidad genética dentro de las especies. En conjunto la biodiversidad sustenta la vida sobre el planeta.

## Una mirada amplia a la pérdida de la biodiversidad

Frecuentemente "pérdida de biodiversidad" es la forma actual que se usa para referirse a la extinción de especies, que es sin duda una de sus más graves manifestaciones; pero no es la única ni tampoco el hecho de que sea una forma de pérdida irreversible.

## La muerte del nacimiento

La Lista Roja de especies amenazadas de la Unión Mundial de Conservación de la Naturaleza (UICN) de 2002, presenta para Sudamérica 10.930 especies: 29 extintas, 6 extintas en estado silvestre, 659 en peligro crítico, 1.280 en peligro y 2.219 vulnerables. Las tasas de extinción actuales, de hasta 30.000 especies/año, según Wilson (1995), constituyen el sexto gran evento de extinción masiva. Según la Evaluación de Ecosistemas del milenio (EEM, 2005), estas tasas son mil veces más altas que en el pasado reciente, y se prevé que puedan alcanzar hasta 10.000 veces más, entre 10–1.000 especies/1.000 especies por milenio. En Colombia (Franco, 2006), el 10,9% de los mamíferos, el 6,2% de las aves, el 4,8% de los reptiles, el 2,6% de los anfibios y el 1,4% de los peces marinos presentan algún nivel de amenaza. No es el primer evento de este tipo en el planeta, pero sí único porque además viene acompañado de la afectación de los procesos evolutivos que dan origen a la diversidad. P. Hawken (1993) lo denominó "la muerte del nacimiento".

Las especies entran en el vórtice de la extinción después de la reducción sistemática de su área de distribución, pérdida de su hábitat o de las condiciones ecológicas que les son necesarias, se precipitan luego de forma aleatoria, por la incapacidad de las poblaciones de mantener un número mínimo de individuos. Las consecuencias se manifiestan en las poblaciones que han sido así reconocidas como las unidades de conservación (Kattán y Valenzuela, 2008). La mayoría de las veces, el fenómeno de la extinción se desencadena con la transformación de la biodiversidad en los ecosistemas. Mucho antes de la extinción, sucede una merma de riqueza característica de especies de un sitio o el cambio en la composición de la biota, aspectos que prácticamente no son atendidos. ¿Podían estar aquí las razones del fracaso de la meta 2020? La atención a la biodiversidad, solo cuando las causas de pérdida se manifiestan terminalmente —como es la atención a especies en estado crítico—, equivaldría a reducir la salud pública a las unidades de cuidado intensivo. Pero ¿qué pasa con la medida preventiva y curativa?

Un ejemplo es la ley de especies amenazadas de Estados Unidos, instrumento jurídico poderoso para enfrentar la extinción con algunos casos de especies que gracias a ciertos planes de recuperación retoman del vórtice de la extinción, como la emblemática águila calva. Pero es un hecho que decenas de especies siguen ingresando a la lista, de tal suerte que los científicos argumentan la necesidad de llevar la conservación a la escala de ecosistemas y paisajes.

El punto es que entre las múltiples manifestaciones de pérdida de biodiversidad, la extinción de especies es la única que ha adquirido un lugar, aunque modesto, en las preocupaciones de la sociedad. En cambio, la transformación y la pérdida de biodiversidad no aparece como problema irreversible, e incluso se contabiliza "en positivo" en las estadísticas del tamaño de la economía. ¿No es esto lo que se está viendo hoy con la transformación productiva de la Orinoquía? Así no va ser posible salvar conjuntos cada vez mayores de especies en estado vulnerable, amenazado o crítico. Poner un límite a la modificación y pérdida de los ecosistemas naturales es algo imperativo, y tiene que ver no solo con los bosques, sino con todos los ecosistemas. Esto, sin embargo, implica poner a la conservación en el centro de los objetivos del desarrollo humano. En efecto, en la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, preparada a pedido del secretario general de las Naciones Unidas, el 60% de los servicios ambientales que sustentan el bienestar humano aparecen en deterioro y regresión. La totalidad de los servicios de la naturaleza se basa en la biodiversidad. Lo que está amenazado con la biodiversidad es la calidad de vida y la propia civilización.

1. Véase el informe de la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (2005), [www.millenniumassessment.org/es/index.aspx](http://www.millenniumassessment.org/es/index.aspx).

## Objetivos de conservación cuando el cambio es inevitable

En una mirada, digamos convencional, para enfrentar la pérdida de biodiversidad se controlan las "amenazas", entre ellas la transformación y la pérdida de hábitats, la sobreexplotación de poblaciones y la contaminación. Temprano, algunos analistas vislumbraron también el cambio climático y lo fijaron en la lista de factores que inciden directamente en la extinción. En esta óptica el cambio que amenaza la biodiversidad es considerado simplemente como indeseable, y el supuesto básico es que se puede modificar a condición de actuar a tiempo sobre las causas que lo originan. Algunas áreas protegidas se crearon no como "naturaleza prístina" sino para ser regeneradas. Una parte del Parque Nacional los Katíos corresponde a la hacienda azucarera Sautatá, en la cual hoy se encuentran densos bosques tropicales.

Hoy sabemos que las causas de pérdida no solo han aumentado, sino que las condiciones mismas de existencia de la biodiversidad se están modificando. En efecto, en muchas ocasiones los ecólogos han observado que algunos ecosistemas derivan hacia otros estados de equilibrio, en un proceso de cambio irreversible. Así, algunos ecosistemas llamados "naturales" son producto de este tipo de cambio. Para Elmerberg (1979) la puna de Perú y Bolivia es un "ecosistema de reemplazo", en el cual subsisten como ínfimos reliquios los antes extensos bosques de *Polyplepis*. Van der Hammen (2000) los define ecosistemas semi-naturales cuando los arreglos silvestres resultan de la acción humana. Este sería el caso de los subgrupos andépicos que se extienden en zonas antes ocupadas por los muy delicados bosques alto-andinos. También hay ecosistemas de reemplazo en la gran sabana antrópica, que toma el lugar del bosque húmedo y seco tropical destruido.

Pero, además, existe el cambio que desencadenamos y no controlamos por medio de las invasiones biológicas y la emergencia de neo-ecosistemas (Hobbs et. al., 2006); es el cambio inevitable que en los ecosistemas se manifiesta como no lineal: saltos y sorpresas con múltiples estados de equilibrio<sup>2</sup>.

Entonces, es claro que la naturaleza sigue cambiando, pero no así el modelo de conservación convencional que debe ser complementado con urgencia para contribuir a "conducir el cambio" de la biodiversidad hacia estados factibles y más deseables por la sociedad.

## ¿Una nueva medida de éxito?

En este punto hay que reconocer una importante evolución histórica. Los pioneros de la conservación aspiraban a guardar en "museos vivos" el conjunto de los espacios naturales valiosos y sobresalientes de la riqueza y belleza del mundo. Así nacieron los grandiosos parques nacionales. Más tarde se habló de mantener una muestra representativa de la diversidad de ecosistemas y especies, y se hicieron análisis de vacíos de cubrimiento en los sistemas de áreas protegidas. Desde 1992 hasta el presente, los países han multiplicado el número de parques y áreas protegidas, cuya superficie es equivalente al territorio de Rusia. Sin embargo la magnitud de extinción sería muchísimo mayor, pues en varias naciones del mundo la totalidad

2. Una propuesta sobre los ecosistemas emergentes en Colombia se encuentra en Andrés Droefl, en una entrega anterior de esta revista.

La Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito impulsa el desarrollo del conocimiento y de la sociedad a través de acciones concretas

Nos desempeñamos en sectores como:

- Agua y ambiente
- Infraestructura
- Energía
- Liderazgo empresarial
- Biotecnología
- TIC
- Materiales
- Matemáticas
- Economía
- Manufactura

La primera opción y el mejor momento

www.escuelaing.edu.co • 648 3622 • Ax 45 No. 205 - 59, Bogotá, D. C.

de la naturaleza es hoy "naturaleza protegida". Si midiéramos lo obtenido en relación con los sueños más descabellados, no hay duda de que hemos alcanzado un enorme nivel de éxito.

Sin embargo, con el tanto reconocimiento del cambio ambiental global, es claro que para el sustento de la biodiversidad no son suficientes los sistemas de áreas protegidas, así sean "completos y representativos" como pide la CDB. Además deben ser funcionales, resistentes y resilientes. Para ello es necesario el mantenimiento de las especies y comunidades que en cada circunstancia y lugar garantizan la existencia de los procesos ecológicos que, a su vez, permiten el mantenimiento de los servicios de la naturaleza. Es urgente pues, extender una visión de conservación desde las áreas protegidas a la totalidad del entorno ecológico humano; o como se diría en el Instituto Humboldt: "Abrir campo a la conservación".

En este sentido, la forma como hoy se plantean las metas de conservación es completamente insuficiente, y sigue siendo uno de los mayores retos para los formuladores de políticas. "Extinción cero" como objetivo es legítimo porque expresa el mejor estado deseado, pero no es factible no solo por la debilidad de la gestión, sino por la inyección irreversible de un cierto nivel de cambio ambiental global. El éxito en la conservación de la biodiversidad en el futuro tendrá que ver entonces con la posibilidad de instalar una gestión que ponga límite a los procesos de cambio, para el mantenimiento de un espacio seguro para el funcionamiento de la sociedad humana. "Disminuir significativamente la pérdida de biodiversidad" sería una formulación más adecuada, siempre y cuando haya un acuerdo prudente sobre aquello que se considera significativo.

## Conservación de la biodiversidad como gestión de riesgo

La conservación en escenarios de cambio ambiental se comprende mejor con el enfoque de gestión del riesgo ambiental (Aubertin, 2005). Es decir, se hace necesario determinar, en cada circunstancia, la probabilidad de cambio de los componentes de la biodiversidad, según los factores externos de amenaza y teniendo en cuenta su vulnerabilidad intrínseca. Luego se valora la probabilidad de cambio como riesgo para la sociedad. La pregunta por la formulación de las metas de conservación se traslada a la magnitud de pérdida de biodiversidad y extinción que estamos dispuestos a tolerar, como parte de la construcción de un sistema ecológico humano seguro. Así, "disminuir significativamente la pérdida de biodiversidad" sería una formulación más adecuada, siempre y cuando haya un acuerdo prudente sobre aquello que se considera significativo.

De acuerdo con esto emerge, paralelo al vigente control de amenazas, la disminución de la vulnerabilidad como un objetivo central para la gestión de la biodiversidad. Ello equivale a decir que conservar es mantener la salud de los ecosistemas. La conservación preventiva, la que busca mantener el sistema ecológico y social lejos de umbrales de cambio indeseable, es no solo la más eficiente sino acaso la única que podremos ejecutar, cuando lo que está en juego no es una proporción menor de la diversidad de la vida en el planeta.

## Conservación como manejo de resiliencia

Pensar así la gestión de la biodiversidad tiene consecuencias. Un practicante de la conservación, en un páramo protegido, por ejemplo, no anotaría en el mismo nivel de prioridad la ganadería y la agricultura, sin antes evaluarlas como disturbios de diferente magnitud e intensidad. Incluso podría atreverse a tolerar cierto nivel de pastoreo para no alterar irreversiblemente la vulnerabilidad del ecosistema, y generar acuerdos con los habitantes como contraprestación a la disminución de la agricultura de papa que tiene la mayor probabilidad de precipitar un cambio irreversible. Esta aproximación dinámica a la conservación de la biodiversidad no solo se enfrenta con obstáculos conceptuales, sino en ocasiones con problemas jurídicos.

3. Los trabajos del grupo de investigación de la Universidad Nacional, dirigidos por Orlando Vargas, son muy significativos en este sentido como insumo científico para la conservación.

La habilidad del manejador estaría en su capacidad de "percibir" (porque no es cuestión siempre de "medir") cuándo una trayectoria se aproxima a un umbral de cambio irreversible. Otra forma de gestión es alejar el umbral de cambio. En el ejemplo hipotético del páramo, la gestión de conservación podría centrarse en procurar un ingreso alternativo que permita a la población humana evitar los sistemas productivos que precipitan el cambio irreversible. Hay pues una agenda muy grande, no ya para enumerar las amenazas, sino para definir los factores que controlan la vulnerabilidad de los ecosistemas. Algunos de los elementos de esta transición en la forma de concebir la conservación se presentan en la siguiente tabla.

4. Este podría ser un enfoque para los actores sociales ya inscritos en la agenda de la gestión de la conservación de la biodiversidad.

Gestión de recursos naturales (biológicos)	Conservación de la biodiversidad con enfoque ecosistémico	La conservación de la biodiversidad como gestión de la resiliencia de los ecosistemas
Manejo de un recurso natural	Gestión de un ecosistema	Gestión de un socio-ecosistema.
Condición histórica de la biodiversidad como referencia para el manejo		Traectoria futura previsible por medio de modelos
Conservar el recurso biológico manteniendo una tasa de extracción óptima	Conservar la biodiversidad en un mosaico espacio-temporal que considere múltiples estados posibles de equilibrio	
Prevenir y controlar las amenazas que afectan la biodiversidad	Manejar las perturbaciones en el ecosistema dentro de un rango normal de variabilidad	Crear un régimen de perturbación que disminuya la vulnerabilidad según objetivos y escenarios de cambio
La gente usa los recursos naturales (biológicos)	La gente usa los ecosistemas, de los cuales hace parte	La gente asume la responsabilidad de la gestión del socio-ecosistema
Los técnicos definen el estado deseado de los recursos naturales	Los técnicos definen de manera participativa el estado deseado en un territorio que se maneja con objetivos de conservación	La meta de conservación refleja un acuerdo social, enmarcado dentro de la gestión del riesgo de cambio en los ecosistemas
El uso de los recursos naturales se hace según la "vocación" de la tierra	Se busca un uso múltiple que garantice la sostenibilidad del ecosistema	El uso es decidido dentro de un espacio de funcionamiento seguro de los ecosistemas

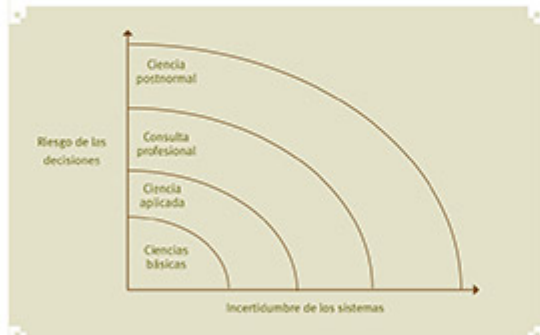
## Conciencia para la gestión de la biodiversidad

El poeta T. S. Elliot se preguntaba: "¿Dónde está la sabiduría que hemos perdido con el conocimiento? ¿Y dónde está el conocimiento que hemos perdido con la información?". Pues bien, son preguntas centrales para superar la crisis en la formulación de metas de conservación, porque la avalancha de información actual genera la sensación de que el conocimiento del mundo está incrementándose al

mismo ritmo con que crece o con que se sofistican las formas de ordenación de la información. En la conservación de la biodiversidad hay motivos para pensar que el manejo de información, que debería ser parte de la producción de nuevo conocimiento, en la práctica puede estar reemplazándolo y desplazando la comprensión humana de los fenómenos hacia un dominio puramente instrumental. La evidencia muestra que el aumento de la información y el conocimiento no están aumentando el nivel de control humano sobre los fenómenos de la naturaleza. O al menos, de un tipo particular de información y conocimiento.

La biología de la conservación nació como una rama aplicada de la ciencia normal —es decir, aquella aceptada formalmente en la sociedad como forma de producir conocimiento válido— y produjo una hija tecnológica llamada Planificación Sistemática de la Conservación (PSC). En esta aproximación, mediante el uso de algoritmos aplicados a bases de datos, los científicos generan escenarios para maximizar la biodiversidad en situaciones de compromiso frente a otros usos de la tierra, o recursos políticos o financieros escasos. Es una práctica sustentada en una ciencia positiva, de la cual se derivan preceptos técnico-normativos. Sin embargo, la práctica ha venido mostrando que la relación entre el conocimiento y la toma de decisiones es más compleja. La relación entre la incertidumbre en el conocimiento del funcionamiento de los ecosistemas y el riesgo de actuar, genera un espacio que es restringido para la ciencia básica y aplicada, y para su interpretación, y que aparece mayor para una ciencia "postnormal" (véase figura 1, de Funtowicz y Ravetz, 1999), cuya definición en este caso podría ser el "arte de tomar decisiones más o menos informadas de conservación, en escenarios de urgencia de pérdida de la biodiversidad".

Figura 1.



## ¿Cómo comunicar entonces la conservación de la biodiversidad?

El primer punto es reconocer nuevas dimensiones de la biodiversidad. El CDB se basa en una definición de aquella centrada en los atributos naturales de heterogeneidad de ecosistemas, especies y diversidad genética; y en la escogencia de instrumentos de control humano como conocimiento, conservación, uso sostenible y distribución equitativa de beneficios. Los verbos infinitivos clave en ese momento fueron "conocer", "conservar" y "usar". Faltaba el sujeto y el predicado, que han venido apareciendo últimamente.

Hoy se considera que biodiversidad es un concepto híbrido científico-político, con gran plasticidad semántica (Aubertin, 2003). Muchas veces con su uso ya no se puede precisar exactamente de qué se

está hablando; no solo ha adquirido mayores y más complejos contenidos, sino como "nuevo objeto ambiental" reivindica la incidencia de actores de la sociedad civil y las ONG que llegaron a la política pública mundial. La biodiversidad emerge así como un componente del bienestar humano, por eso es urgente una nueva forma de comunicarla en la sociedad.

La conservación que hoy predicamos está cargada de la valoración positiva de los grupos de interés, frecuentemente recreada en situaciones de conflicto por su pérdida o transformación. Acudimos a las listas de especies amenazadas para persuadir en la sociedad la necesidad de evitar la transformación de un humedal amenazado por la palma africana, o un bosque alto-andino por un proyecto de minería. La educación ambiental sobre la biodiversidad está basada en expandir esta conciencia. No obstante, esta forma de venderla genera tanto adeptos como detractores, y su éxito se basa en lograr el apoyo de una "inmensa mayoría". Y como tiene una alta vulnerabilidad política, el mensaje sobre la biodiversidad que se transmite a la sociedad debe cambiar, o al menos complementarse. Volverla relevante para la gente.

En los primeros años se trabajó bajo la premisa de que la sociedad aceptaría más conservación de la biodiversidad cuando entendiera que ella representaba "oro verde", es decir, que entre la riqueza biológica y la económica solo mediaba la investigación aplicada. El Instituto de Biodiversidad, INIBIO, el primer instituto de biodiversidad en Costa Rica, nació con la misión de poner en valor económico la diversidad biológica (genética). El conocimiento se centró en generar inventarios y bases de datos de especies y diversidad genética. Era tal la expectativa que la discusión en la CDB sobre distribución de beneficios se limitó a los recursos genéticos. En Colombia el instituto de la biodiversidad se fundó para la investigación de "recursos biológicos", aunque por el desarrollo del mismo CDB su trabajo no se quedó restringido allí. Aunque no puede negarse la promesa de que algún descubrimiento vendiero pueda causar alguna diferencia económica importante, la evidencia muestra que la mayoría de las veces la diversidad es más un problema, sobre todo frente al modelo de desarrollo vigente.

Hoy sabemos que riqueza biológica es, ante todo, complejidad ecológica, por no decir claramente socio-ecológica, y que genera enormes dificultades de gestión. "Es difícil manejar un país que produce cuatrocientas clases de queso", frase atribuida a Charles de Gaulle. ¿Cuánto más no diríamos de un país mega diverso como el nuestro? Si riqueza biológica es complejidad, entonces la conservación de la biodiversidad es la gestión de esa complejidad, en particular del riesgo de su cambio o desaparición. Y el riesgo es la viabilidad y la seguridad del bienestar humano. En este sentido, la biodiversidad tiene una dimensión económica gigante, como recurso, pero sobre todo como servicio ambiental de regulación y soporte del sistema ecológico, infraestructura ecológica y plataforma sobre la cual deberemos enfrentar el cambio ambiental global. Quizás con un nuevo discurso como este podamos convencer a la sociedad de que, como vamos, así crezca la economía, no vamos bien. Y no porque nos veamos por primera vez amenazados, sino porque esta vez apreciamos en todo su esplendor la vulnerabilidad de nuestra sociedad.

## ¿Planificar la extinción?

Escojer lo que hay que conservar de alguna manera ha significado definir, por defecto, aquello que tiene menos probabilidad de mantenerse. De ahí la importancia ética de la planificación científica de la conservación. Sin embargo, en escenarios de alta incertidumbre sobre el funcionamiento de la biodiversidad y de alto riesgo para tomar las decisiones, la gestión de la conservación se acerca al concepto de gestión de riesgo. La planificación de la conservación se convierte en una organización de la gestión del riesgo de pérdida de biodiversidad. Con la imputación en todo el planeta de trayectorias inevitables en los ecosistemas, como las que acarrean el cambio ambiental global, los planificadores, por medio de modelos proyectados, deberán enfrentar la pérdida de la biodiversidad en magnitudes antes no conocidas. Cada vez estarán abocados no tanto a prescribir aquello que se debe conservar —que por supuesto se debe seguir haciendo—, sino a indicar a la sociedad aquello que puede pensarse con cierta probabilidad. Sus recomendaciones configurarían elementos para una planificación adaptativa de la pérdida de la biodiversidad y la extinción.

## Referencias

- Andrade, G. I. (2008). "Naturalmente humano: los ecosistemas emergentes y la gestión de una nueva naturaleza", en *Innovación y Ciencia*, Vol. XV, No. 3, pp. 50-59.
- Aubertin, C. (2005). *Représenter la nature? ONG et biodiversité*, France, IRD Éditions, p. 250.
- Ellenberg, H. (1979). "Man's Influence on Tropical Mountain Ecosystems in South America: the Second Tansley Lecture", en *Journal of Ecology*, Vol. 67, No. 2, pp. 409-416.
- Franco, A. M. (2006). "Biodiversidad amenazada en Colombia", en Chávez, M. E. y Santamaría, M. (Eds.) *Informe sobre el avance en el conocimiento y la información de la biodiversidad 1998-2004*. Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, Colombia, 2 tomos.
- Funtoowicz, S. O. y Ravetz, J. (1999). "Post Normal Science. An Insight Now Maturing", en *Futures*, Vol. 31, No. 2, pp. 641-646.
- Haaken, P. (1993). *The Ecology of Commerce. A Declaration of Sustainability*, U.S.A., Harper.
- Hobbs, R. J., Arico, S., Aronson, J., Barron, J. S., Bridgewater, P., Cramer, V. A., Epstein, P. R., Ewel, J., Klink, C. A., Lugo, A. E., Norton, D., Ojima, D., Richardson, D. M., Sanderson, E. W., Valladares, F., Vila, M., Zamora, R. y Zobel, M. (2006). "Novel Ecosystems: Theoretical and Management Aspects of the New Ecological World Order", en *Global Ecology and Biogeography*, No. 15, pp. 1-7.
- Kattán, G. y Valenzuela, L. (2008). "Poblaciones: las unidades básicas de la conservación", en Kattán, G. y Naranjo L. G. (Eds.). *Regiones biodiversas. Herramientas para la planificación de sistemas regionales de áreas protegidas*. Wildlife Conservation Society, Fundación EdoAndina y WWF, Cali, Colombia, p. 224.
- Van der Hammen, T. (2002). "Consensos mundiales de restauración y enfoques de investigación y monitoreo", en Ponce de León, E. (Ed.) *Memorias del seminario de restauración ecológica y reforestación*, GTZ, Fundación Alejandro Ángel Escobar y Pescot, Bogotá.
- Wilson, E. O. (1995). *La diversidad de la vida: en defensa de la pluralidad biológica*, Barcelona, Circulo de Lectores.



Biodiversidad

# Biodiversidad microbiana y manantiales salinos, ¡un mundo para explorar!

SANDRA BAENA  
PROFESORA ASOCIADA DEL DEPARTAMENTO  
DE BIOLÓGIA, FACULTAD DE CIENCIAS  
PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
baena@javeriana.edu.co

CAROLINA DÍAZ  
MICROBIÓLOGA INDUSTRIAL, M.Sc. Ph.D.  
FACULTAD DE CIENCIAS  
PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA  
diaz-c@javeriana.edu.co

## Introducción

La biodiversidad, definida como la variabilidad entre organismos vivos, incluida la diversidad genética de especies y ecosistemas (Convenio sobre la Diversidad Biológica, 1992), será protagonista este año, como lo ha declarado la ONU. Uno de los objetivos del Año Internacional de la Biodiversidad es “[...] crear una mayor conciencia de la importancia de su conservación para el entendimiento humano, el bienestar y, al mismo tiempo, promover su valor económico”.

Colombia es un país rico en biodiversidad, basta con mirar los inventarios de flora y fauna. Sin embargo, las descripciones están sesgadas positivamente hacia las células eucariotas, y poco se conoce sobre la diversidad de las procariontas.

El término procarionta, que incluye organismos unicelulares sin núcleo delimitado, es amplio y no solo abarca organismos del dominio Bacteria, sino también del dominio Archaea, tal vez menos conocido que el primero, pero igualmente importante. En sus hábitats naturales, estos organismos cumplen funciones relevantes como la transformación de nutrientes en los ciclos biogeoquímicos, el reciclaje de materia orgánica y la fijación de carbono atmosférico (Guemero y Berlanga, 2006). Sus características fisiológicas han permitido utilizarlos para la obtención de principios activos farmacéuticos, biopolímeros y otras moléculas de alto valor añadido. Se considera que el 90% de la diversidad procarionta está en el subsuelo de la corteza terrestre, y que solo el 50% se desarrolla en la biosfera superficial (Roselló-Mora, 2005). En la corteza oceánica también se ha encontrado vida procarionta. Santelli y sus colegas (2008) reportaron que sobre el piso oceánico asociado a basaltos (rocas volcánicas), existe una alta abundancia de células procariontas, mayor a la encontrada en aguas marinas profundas (mayores a 5.000 metros). Esto nos da una clara idea de que la diversidad procarionta se encuentra en ambientes poco comunes e investigados.

Esta diversidad no ha sido estudiada extensivamente en Colombia —como ha sido el caso de la flora y la fauna—, a pesar de los numerosos hábitats microbianos para explorar. Entre estos cabe mencionar los manantiales o brotes de aguas salinas, ubicados sobre todo en la zona andina, y que se caracterizan por aflorar sobre o cerca de un trazo de falla geológica, a pocos metros de drenajes mayores (Cardona y Cortés, 2006). Existen reportes de utilización de estos manantiales desde épocas precolombinas para la extracción de sal con diferentes fines, desde consumo humano hasta orfebrería. La sal ha sido un artículo de primera necesidad y ha tenido, desde tiempos remotos, un alto valor comercial y simbólico (Acevedo y Martínez, 2004); los pueblos precolombinos buscaban asentamientos aledaños a las minas de sal y a las salinas, y algunas culturas precolombinas, como la Quimbaya, que habitaban regiones ricas en salinas, la utilizaban para facilitar la fusión del oro con el cobre en mezclas definidas (tumbaga); de esta manera elaboraban las piezas de orfebrería que conocemos hoy en día (Tosti, 2004).

Las propiedades medicinales de las salinas encontradas en la denominada Provincia de Antioquia por los exploradores franceses Boussingault y Roulin (1849), también han sido descritas desde el siglo XIX; aquellas hacían referencia a la presencia de yodo en el agua, que evitaba la aparición de coto o bocio entre las poblaciones consumidoras de sal, extraída de estas salinas.

En este artículo pretendemos darle una mirada diferente a los manantiales salinos, esta vez como hábitats de una diversidad procarionta sin explorar en nuestro país.



Figura 1  
Rio Comotá ubicado en el departamento de Risaralda.

Figura 2  
Redescubrimiento del manantial salino Salada de Comotá, ubicado en el departamento de Risaralda.



Figura 3  
Manantial salino Salada de Comotá (departamento de Risaralda).



## Manantiales salinos como hábitats de microorganismos

Gran parte de la biosfera es salina. El agua de los océanos y mares, que cubre la mayor cantidad de la superficie terrestre, contiene aproximadamente 35 gramos de sales disueltas por litro. Con frecuencia se pueden encontrar altas concentraciones de sal en ambientes con altas tasas de evaporación, en donde el intercambio de agua con el mar es lento (marismas, estanques de cristalización y lagunas), y en lagos naturales terrestres con concentraciones de sales cercanas o superiores a los niveles de saturación (es decir, a los 330 gramos por litro), como es el caso del Mar Muerto y el Gran Lago Salado en Utah, cuya concentración total de sales disueltas es superior a 300 gramos por litro (Dren, 2006).

Los ambientes salinos e hipersalinos como hábitats de microorganismos se definen principalmente por la concentración de sal; sin embargo, la composición iónica también es un factor clave que determina las propiedades fisicoquímicas del hábitat. Esta composición iónica varía de forma considerable dependiendo de la topografía, la geología y las condiciones climáticas (Dren, 2006); de acuerdo con ella, las aguas saladas pueden ser clasificadas en talasohalinas (aguas marinas) y atalashalinas (aguas no marinas). Las salmueras talasohalinas, caracterizadas por presentar un pH neutro o ligeramente alcalino (-8), se originan por procesos de evaporación del agua de mar, y reflejan su composición iónica, al menos durante los pasos iniciales de evaporación (Dren, 2006).

Las aguas atalashalinas tienen una composición iónica que varía significativamente con respecto al agua de mar; el Mar Muerto es un ejemplo de este tipo de ambientes, aquí dominan los cationes divalentes con concentraciones de magnesio ( $Mg^{2+}$ ) y calcio ( $Ca^{2+}$ ), excediendo las de sodio ( $Na^{+}$ ) y potasio ( $K^{+}$ ) (Dren, 2006).

En Colombia existe un gran número de manantiales atalashalinos a lo largo de las tres cordilleras, situados a grandes distancias de las costas. En 28 de los 32 departamentos de Colombia existen, aproximadamente, 360 puntos geográficos (quebradas, arroyos, ciénagas, ríos, lagunas y cañones) con nombres que hacen referencia a la sal como El salado, Saladito, Salada, Saladero, Saladillo, Saladillo o Salabrillo, la mayoría ubicados en los departamentos de Antioquia, Tolima, Cauca, Nariño y Huila. El domo de sal de Zipaquirá, situado a 50 km de Bogotá, y con una datación de 200 millones de años, es uno de los más grandes depósitos de sal del país.

En la región suroccidental de la Cordillera Central en Colombia, se encuentran diferentes manantiales salinos y termales considerados fuente de recursos minerales (en concentraciones explotables) e hidrícos por su estrecha relación con las aguas subterráneas; su principal aplicación actual es la balneología recreativa y terapéutica (Alfaro et al., 2002). Sin embargo, el desconocimiento de su diversidad microbiana no ha permitido considerarlos fuentes de recursos biológicos. En términos geotectónicos, el origen de los manantiales de la Cordillera Central está relacionado con el movimiento de las placas tectónicas y, sobre todo, con el proceso de subducción. Debido al aumento de temperatura y presión durante aquel proceso, los minerales de la corteza oceánica se transforman, y de sus sedimentos se libera agua que luego brota en la superficie por medio de fallas geológicas formando los manantiales (Tixi, 2004). Estas fuentes difieren en su estructura química según la interacción del agua con la roca y la composición de la misma; algunos manantiales pueden tener altos contenidos de bicarbonatos, cloruros, o sulfatos. El origen de los manantiales salinos de la Cordillera Oriental en Boyacá está relacionado con la presencia de depósitos evaporíticos no marinos (Alfaro et al., 2002).

Díaz y sus colegas (2009) estudiaron diferentes manantiales salinos en las cordilleras Central y Oriental, en los departamentos de Risaralda y Boyacá. Estos se consideran puntos de partida interesantes para el estudio de la composición y patrones de distribución de la diversidad microbiana de manantiales salinos.

## Diversidad procariota de manantiales salinos

Los microorganismos capaces de crecer a diferentes concentraciones de sal se encuentran en los tres dominios de la vida: Archaea, Bacteria y Eucarya. La diversidad procariota de hábitats salinos se po-



Figura 4  
Manantial salino  
Salpa (Boyacá).

de clasificar de acuerdo con su afinidad por la sal, referida principalmente al cloruro de sodio ( $NaCl$ ). Los microorganismos que requieren sal para su crecimiento son denominados halófilos, y dentro de estos se encuentran organismos ligeramente halófilos que requieren de bajas concentraciones de sal, alrededor del 3%, porcentaje inferior a la salinidad del agua de mar. Los halófilos moderados, entre los que están la mayoría de organismos marinos, requieren concentraciones de sal de entre el 3 y el 15%, y los halófilos extremos requieren altas concentraciones de sales, iguales o superiores al 25%.

En general, los organismos halófilos están emparentados con organismos no halófilos (Pikuta et al., 2007), pero se pueden identificar tres grupos de organismos integrados solo por halófilos: 1) la familia Halobacteriaceae (dominio Archaea); 2) la familia Halomonadaceae (dominio Bacteria), y 3) las familias Halanaerobacteraceae y Halobacteriaceae (dominio Bacteria) (Dren, 2006).

Los organismos halófilos poseen estrategias diferentes de adaptación al medio: las archaeas acumulan concentraciones muy altas de cloruro de potasio en su interior para contrarrestar la presión osmótica del ambiente, y las bacterias elaboran una serie de sustancias orgánicas diferentes conocidas como solutos osmóticos o compatibles—de bajo peso molecular (azúcares, azúcar-alcóholes, alcoholes, aminoácidos y derivados)—, que a la vez se acumulan en su interior para proporcionar el balance osmótico.

En los manantiales salinos de Colombia explorados hasta la fecha, se han identificado organismos ligeramente halófilos y halófilos moderados del dominio Bacteria, principalmente del filo Proteobacteria; estos tienen concentraciones de cloruro que oscilan entre 14.7 y 5.4 gramos por litro de agua, un pH de entre 6.5 y 8.6, y temperaturas alrededor de 20 °C. En el manantial salino de la Cordillera Oriental se encontraron organismos ligeramente halófilos relacionados con los géneros bacterianos *Cyrobacter*, *Trossakiella*, *Acinetobacter*, *Thiomicrospira*, *Marinomonas* y con el filo Cyanobacteria en menor proporción, reportados en ambientes salinos y de aguas dulces. A diferencia de lo observado en la cordillera, los manantiales salinos de la Cordillera Central presentan en común una diversidad microbiana asocia-

Figura 5  
Diatomea del género *Alicocha*, presente en el manantial salino Salpa (Boyacá).



Figura 6  
Diatomeas del género *Alicocha*, observadas por microscopía electrónica de barrido realizada en el manantial salino Salpa (Boyacá).



da con ambientes marinos, con organismos relacionados con los géneros *Marinomonas*, *Aurantimonas*, *Pseudomonas*, *Vibrio*, *Sulfurimonas*, *Marinobacter*, *Oceanicola*, *Morichromatium*, *Desulfotignum*, *Nofelia* y *Thiomicrospira*, todos reportados previamente en aguas oceánicas.

Más interesante aún es que el estudio de estos hábitats ha revelado la presencia de diversidad microbiana nunca antes descrita. De estos manantiales salinos colombianos se ha realizado, hasta el momento, la descripción de una nueva especie, *Dehtiosulfivibrio solugini* (Díaz et. al., 2009), con la cual se ha contribuido al conocimiento de nuestra diversidad procarionta.

El estudio de la biodiversidad empieza con el reconocimiento de las entidades que la componen, y los inventarios biológicos son un punto de partida clave porque permiten definir los rangos de distribución geográfica de las especies y apoyan la exploración y valoración económica de posibles usos de

estas, así como el diseño de acciones de conservación (Chalmers, 1996). La búsqueda de diversidad microbiana en ambientes no explorados abre la posibilidad de identificar microorganismos con potencial de aprovechamiento para el hombre.

Ante la duda sobre cómo estos organismos podrían ser útiles a la humanidad, debemos tener claro que su aprovechamiento puede ser determinado mediante estudios más detallados de sus características genéticas, fisiológicas y propiedades metabólicas. Es decir, en primera instancia es importante conocer nuestra diversidad procarionta y, enseguida, identificar sus principales características. Hoy en día se cuenta con tecnologías de avanzada como la genómica, la proteómica y la metabolómica, que hacen posible descripciones globales de procesos biológicos y sus rutas metabólicas, que a su vez permiten definir aplicaciones de esta biodiversidad.

Queremos agradecer a Colciencias por la financiación del proyecto "Estudio ecofisiológico de comunidades microbianas halófilas de manantiales salinos y termales de Risaralda (Colombia)", y a la microbióloga industrial Luisa Fernanda Bernal por su valiosa colaboración.

Nota: para el estudio de la diversidad procarionta reportado en este artículo (Díaz et. al., 2009) se contó con los permisos de investigación de la Corporación Autónoma Regional de Boyacá (CorpoBoyacá), Resolución No. 0102 del 14 de febrero de 2003 y el Permiso de Investigación científica en diversidad biológica No. 8 del 31 de octubre de 2006 del MAVDT.

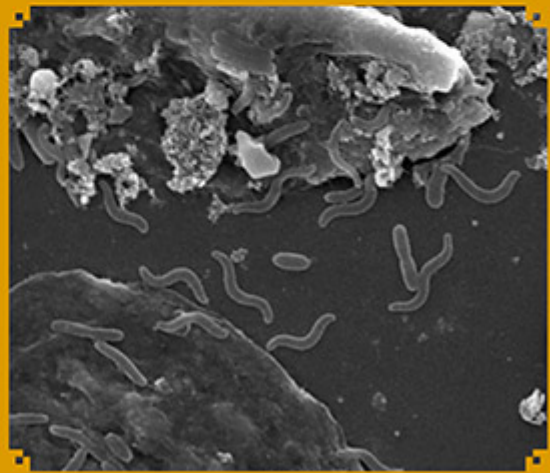
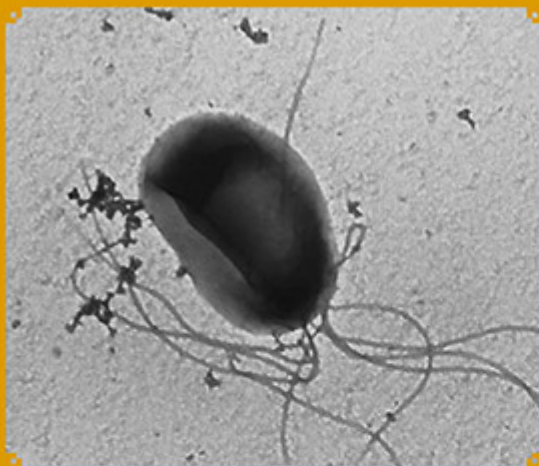


Figura 7  
Morfologías dominantes presentes en el manantial salino Salpa de Consotá (Boyacá), observadas por microscopía electrónica de barrido.

Figura 3

Micrografía en tinción negativa de un organismo del género *Aureimonas*, aislado de un manantial salino ubicado en el departamento de Risaralda.



## Referencias

- Acevedo, A. y Martínez, S. (2004). "La sal y las mercancías en las provincias Quimbaya", en López, C. y Cano, M. (Eds.) *Cambios ambientales en perspectiva histórica. Ecorregión del Eje Cafetero*, Universidad Tecnológica de Pereira, Programa Ambiental GTZ, Pereira, pp. 167-187.
- Alfaro, C., Aguirre, A. y Jaramillo, L. F. (2002). *Inventario de fuentes termales en el Parque Nacional Natural de los Nevados*, Ministerio de Minas y Energía, Ingeominas, Bogotá, p. 101.
- Boussingault, M. y Roulin, F. (1849). *Viages científicos a los Andes Ecuatoriales o Colección de memorias sobre física, química e historia natural de la Nueva Granada, Ecuador y Venezuela*, Traducción de J. Acosta, París, pp. 120-153.
- Cardona, J. J. y Cortés, L. (2006). "Cartografía geológica detallada para el Salado de Consoá y sus alrededores", en López, C., Cano, M. y Rodríguez, D. M. (Eds.) *Cambios ambientales en perspectiva histórica. Ecología histórica y cultura ambiental*, Vol. 2, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, pp. 93-109.
- Convenio sobre la diversidad biológica (1992), disponible en <http://www.cbd.int/>. Recuperado en marzo de 2010.
- Chalmers, N. R. (1996). "Monitoring and Inventorying Biodiversity: Collections Data and Training", en Di Castri, F. y Yuonés, T. (Eds.) *Biodiversity, Science and Development*, Cambridge, CAB International, University Press, pp. 171-179.
- Díaz, C., Rubiano, C. y Bena, S. (2009). "Manantiales salinos de los Andes colombianos: hallazgos desde la microbiología", en XII Congreso Colombiano de Geología, Palpa, Boyacá, septiembre 8-11 de 2009.
- Guerrero, R. y Berlanga, M. (2006). "Life's Unity and Flexibility: the Ecological Link", en *International Microbiology*, Vol. 9, pp. 225-235.

- Oren, A. (2006). "Life at High Salt Concentrations", en Dworkin, M., Falkow, S., Rosenberg, E., Schliefer, K. H. y Stackebrandt, E. (Eds.) *The Prokaryotes. A handbook on the Biology of Bacteria: Ecophysiology, Isolation, Identification, Applications*, 3rd ed. Springer-Verlag, New York, pp. 263-282.
- Oren, A. (2008). "Microbial Life at High Salt Concentrations: Phylogenetic and Metabolic Diversity", en *Saline Systems*, Vol. 4, p. 2.
- Pikuta, E., Hoover, R. y Tang, J. (2007). "Microbial Extremophiles at the Limits of Life", en *Crit Rev Microbiol*, Vol. 33, pp. 183-209.
- Roselló-Mora, R. (2005). "El concepto de especies en procarotas", en *Ecosistemas*, Vol. 14, No. 12, pp. 11-16.
- Santelli, C. M., Orcutt, B. N., Banning, E., Bach, W., Moyer, C., Sogin M. L., Staudigel, H. y Edwards, K. (2008). "Abundance and Diversity of Microbial Life in Ocean Crust", en *Nature* Vol. 453, pp. 653-657.
- Tixit, M. (2004). "Sal, cobre y oro en el Consoá", en López, C. y Cano, M. (Eds.) *Cambios ambientales en perspectiva histórica. Ecorregión del Eje Cafetero*, Universidad Tecnológica de Pereira, Programa Ambiental GTZ, Pereira, pp. 41-53.

Figura 4

Micrografía en tinción negativa de la especie *Dechlorobacterium Salgatis* aislado de un manantial salino ubicado en el departamento de Boyacá.





## Corredor Jaguar

Por Carlos Mario Wagner Wagner  
Fundación Panthera Colombia

El jaguar (*Panthera onca*) es el felino más grande del continente Americano. Su futuro en la actualidad parece incierto, a pesar de haber sido adorado y conservado como deidad por muchas culturas precolombinas a lo largo de Sur y Centroamérica. Hoy en día su supervivencia está directamente amenazada por la cacería retaliativa y por la competencia con los humanos por presas y espacio. La **Fundación Panthera Colombia**, aliada con organizaciones privadas y el Gobierno, trabaja arduamente para conservar poblaciones de jaguares y conectarlas entre sí, en una iniciativa innovadora conocida como *Corredor Jaguar*. De esta manera, lograremos su supervivencia de poblaciones de jaguares para los siguientes quinientos años.

Jaguar (*Panthera onca*) • Foto: S. Winter-Panthera

# INTEGRACIÓN DE LENGUA Y CULTURA

UN DILEMA CENTRAL EN LA ENSEÑANZA DE LAS LENGUAS EXTRANJERAS



NANCY AGRAY VARGAS

MAGISTER EN ENSEÑANZA DEL  
ESPAÑOL COMO LENGUA EXTRANJERA  
PROFESORA DEL DEPARTAMENTO DE LENGUAS  
PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

nagrav@javeriana.edu.co

## Introducción

**P**odemos decir sin temor a equivocarnos, aunque sí con el de estar diciendo una verdad de Perogrullo, que la lengua es el espacio privilegiado de expresión de la cultura y que esta se construye en estrecha relación con la lógica de la lengua. Es entonces por lo menos curioso que solo hasta las dos últimas décadas se haya aceptado, con suficiente énfasis, el carácter indisoluble entre lengua y cultura en la lingüística aplicada a la enseñanza y el aprendizaje de idiomas extranjeros. Este reconocimiento se fundamenta en el descubrimiento de la importancia de enseñar y aprender, además de las estructuras lingüísticas, la cultura de los hablantes de una lengua, con el fin de que los aprendices sean capaces de interactuar y comunicarse adecuadamente en diferentes contextos socioculturales.

El planteamiento teórico sobre la relación indisoluble entre lengua y cultura ha permitido la reformulación de conceptos básicos para la enseñanza y el aprendizaje de lenguas extranjeras como, por ejemplo, el de competencia lingüística que se transformó en competencia comunicativa y, más recientemente, en competencia comunicativa intercultural.

El reconocimiento de que la relación entre lengua y cultura se debe integrar y reflejar en la práctica de la enseñanza, ha generado que en las investigaciones en el área, en las políticas lingüísticas sobre lenguas extranjeras, en los currículos, en los cursos de lengua extranjera y en los libros de texto se haya incorporado el contenido cultural, además de los contenidos lingüísticos con los que se venía trabajando tradicionalmente.

Pero ¿cuál es el concepto de cultura que allí aparece?, ¿cuál es el nivel de profundidad y de rigor con el que el concepto se asume? y, particularmente, ¿cómo se reflejan en los libros de texto, instrumentos didácticos más influyentes en la enseñanza de lenguas extranjeras?

Para intentar encontrar respuestas a algunos de estos interrogantes, revisaré brevemente los aspectos teóricos básicos de tres corrientes metodológicas, importantes en la enseñanza del español como lengua extranjera, a la luz de los planteamientos de algunos de los teóricos de los Estudios Culturales. El objetivo de esta revisión es establecer qué incluyen, qué excluyen y lo que esto puede significar acerca de la valoración, concepción y tratamiento del tema cultural en la práctica pedagógica contemporánea.

## El concepto de cultura en tres corrientes metodológicas para la enseñanza del español como lengua extranjera

Se entenderá aquí por **corriente** el conjunto de métodos de enseñanza con rasgos y características particulares, pero compartidas entre sí, a manera de un continuo que, sin embargo, permite identificar los cambios de paradigma en la enseñanza de lenguas extranjeras.

Este concepto es equiparable a otros utilizados por diferentes escuelas francófonas, anglosajonas y españolas, como por ejemplo al de **enfoque** y al de **metodología**. Según Christian Puren, las metodologías son

[...] formaciones históricas relativamente diferentes unas de otras porque se sitúan en un nivel superior [respecto de los métodos] en el que se tienen en cuenta elementos sujetos a variaciones históricas determinantes como los objetivos generales, los contenidos lingüísticos y culturales, las teorías que los sustentan y la situación de enseñanza (Puren, 1988: 17).

Dentro del conjunto amplio de metodologías se escogieron las tradicionales, las nociofuncionales y las comunicativas. El criterio de selección fue que propusieran explícitamente el contenido cultural con la intención clara de integrar lengua y cultura y no que, por el contrario, sólo se tuvieran en cuenta algunas muestras culturales.

Para efectos de esta exposición, las corrientes metodológicas estarán presentadas en orden cronológico de aparición en la Lingüística Aplicada a la enseñanza de lenguas extranjeras, y se establecen como las épocas de su surgimiento: el siglo XIX para las tradicionales, finales de los años sesenta del siglo XX para las nociofuncionales, e inicios de los años noventa para las comunicativas. Actualmente, en la práctica de la docencia de las lenguas extranjeras coexisten las tres.

### Corrientes metodológicas tradicionales

En las metodologías tradicionales, el objetivo del componente cultural es el de obtener información acerca de y trabajar con productos culturales llamados "sacralizados" (Universidad Antonio de Nebrija, 1998), es decir, aquellos considerados "intocables", producto de la llamada alta cultura; ello determina que se trabajen contenidos como la literatura de un país, sus escritores más famosos, las fiestas que se celebran usualmente; también se incluye la información general del país: su número de habitantes, su ubicación geográfica, sus datos históricos relevantes, etc. Naturalmente, una de las actividades más frecuentes es la lectura de textos informativos y literarios.

En esta corriente metodológica predomina una de las concepciones de cultura que más ha perdurado en la enseñanza de lenguas extranjeras: la de alta cultura, entendida como "The sum of the great ideas, as represented in the classic works of literature, painting, music and philosophy" (Hall, 1997: 2). Esta manera de entender la cultura, cuyo símbolo es la literatura, está directamente relacionada con la del culturalismo británico, una corriente de pensamiento difundida por los intelectuales pertenecientes al hu-



manismo romántico, desde el siglo XIX, y a partir de la cual se gestará "[...] una concepción sociocultural de la idea de cultura que desembocará en la creación de los Cultural Studies" (Maitland y Neveu, 2004: 30).

Matthew Arnold, en el siglo XIX, y Raymond Leavis, en el XX, fueron representantes de dicha corriente y antecesores de los estudios culturales; criticaron el estado de crisis ideológica y cultural predominante en la Inglaterra del capitalismo industrial; vieron la modernización como un peligro para la moral y los valores, y por ello defendieron la alta cultura como instrumento fundamental para mantenerlos.

Para Arnold aquella defensa era el camino para la humanización del hombre, entendida como civilización; era equiparable en valor a la religión, y la expresión de la belleza y la perfección humana. En síntesis, el instrumento más valioso para la salvación del hombre (Mathew, 1992).

Por su parte, para Leavis era necesario rescatar los valores de la alta cultura que la sociedad inglesa estaba perdiendo, a propósito de la Primera Guerra Mundial, lo cual se lograría haciendo que la gente leyera a los grandes autores. Para él la gran literatura y en especial la poesía, era la "[...] portadora de la salud moral" (Maitland y Neveu, 2004: 34).

De acuerdo con sus planteamientos para enseñar inglés como lengua materna, se hacía "[...] necesaria una pedagogía centrada en el análisis de los textos de la literatura inglesa" porque "la lectura metódica de los textos verdaderamente ingleses es el antídoto estético-moral para la contaminación de la lengua ordinaria por la sociedad mercantil" (Ibid. cit., 2004: 33). Su revista *Scrutiny* fue "[...] la tribuna de una cruzada moral y cultural contra el 'embuteamiento' practicado por los medios y por la publicidad" (Ibid. cit., 2004: 33).

Tal vez privilegiar a la alta cultura y, especialmente, a la literatura en la enseñanza de lenguas en la corriente tradicional, obedece a las mismas razones mencionadas por los autores anteriores: el convencimiento de que por medio de la literatura se promueven los valores, la moral y las tradiciones, y de que los grandes autores son los encargados, por una parte, de presentar en sus piezas literarias las realidades dignas de mostrar, y por otra, de ser "modelos lingüísticos" cuyo uso de la lengua es el que se debe imitar y aprender.

Ya en el siglo XV se encuentran manifestaciones de esta idea: las lenguas extranjeras eran aprendidas solo por las élites mediante la lectura y la memorización de los poemas de autores clásicos. Ahora, aunque hay un poco más de acceso al aprendizaje de lenguas extranjeras por parte de las clases medias y bajas, y a pesar de que se estudian otro tipo de géneros literarios y de manifestaciones culturales, lo cierto es que la concepción de la alta cultura y el privilegio que en las clases sociales altas mantiene, en cuanto a la cultura y al aprendizaje de lenguas, sigue siendo predominante.

Esta concepción no solo es radicalmente conservadora sino también muy clasista y por tanto discriminatoria. Reconoce como cultura únicamente la producción que satisface a las clases privilegiadas de la sociedad, ignorando e invisibilizando a los demás actores y clases sociales.

Aunque desde el punto de vista formal esta concepción de la alta cultura evidentemente le aporta bastante a un aprendiz de lengua extranjera, enseñar y aprender solo de las piezas representativas y "sacralizadas" de una sociedad no resulta ni suficiente ni adecuado para la integración de lengua y cultura en el aula de clase, ya que supone asumir que la cultura es un hecho dado, establecido, fijo e inflexible, susceptible de ser presentado sin importar quién sea el aprendiz, y menos con quién y en dónde va a interactuar, pues lo básico es solo "aprender" de la práctica en cuestión.

Universidad  
**Externado**  
de Colombia

FACULTAD DE  
CIENCIAS SOCIALES Y HUMANAS

#### PROGRAMAS DE POSGRADO

Doctorado en Estudios Sociales

Reg. CA MEN 10009

Maestría en Estudios de Población

Reg. CA MEN 10008

Maestría en Estudios de Familia

Reg. CA MEN 10006

Especialización en Gestión del Desarrollo Humano y Bienestar Social Empresarial

Reg. CA MEN 10010

Especialización en Métodos de Análisis Demográfico

Reg. CA MEN 10043

Especialización en Estudios del Territorio

Reg. CA MEN 10013

Especialización en Geografía Política y Geopolítica del Mundo Actual

Reg. CA MEN 10003

#### PROGRAMAS DE PREGRADO

Antropología

Reg. CA MEN 10044

Filosofía

Reg. CA MEN 10047

Geografía

Reg. CA MEN 10030

Historia

Reg. CA MEN 10048

Psicología

Reg. CA MEN 10046

Sociología

Reg. CA MEN 10027

Trabajo Social

Reg. CA MEN 10011

Facultad de Ciencias Sociales y Humanas

Calle 12 N.º 1-57 #666

Teléfono: 342 0268 / 341 9900

eds. 1521 - 1504

direccion@externado.edu.co

Oficina de Admisiones

PH: 353 2000, 342 0268

eds. 4301 a 4307

directo: 264 3779, fax: 363 8020

admission@externado.edu.co

www.externado.edu.co

## Corriente metodológica noicofuncional

El objetivo del componente cultural en esta corriente es facilitar a los estudiantes herramientas que les permitan comunicarse en contextos cotidianos (Universidad Antonio de Nebrija, 1998): los contenidos estarán relacionados con situaciones estereotipadas como, por ejemplo, la manera de solicitar un servicio, de presentarse en una fiesta, o de hablar de los hábitos o de las rutinas, de las costumbres, de la música popular, etc. El tipo de actividades gira en torno a juegos de roles con pautas establecidas y a la simulación de situaciones "prototípicas": en el restaurante, en la agencia de viajes, en el aeropuerto, en el médico, etc.

En este caso nos encontramos con un concepto de cultura más moderno, aunque perteneciente al mismo marco de referencia tradicional: el de bajo cultura, "cultura de masas" o "cultura popular", según la define Hall: "[...] the use of culture to refer to the widely distributed forms of popular music, publishing, art, design and literature, or the activities of leisure-time and entertainment, which make up the everyday lives of the majority of 'ordinary people'" (Sp. cit., 1977: 3).

El estudio de la cultura popular, en parte como reacción a la posición conservadora de autores como los mencionados, bien sea para reivindicarla o para criticar su función en la sociedad de la época es lo que marca el inicio, propiamente dicho, de los Estudios Culturales: aquí se mantiene la gran pregunta que seguirá vigente en todos los tiempos, dado el carácter complejo y dinámico de la cultura: ¿qué es cultura?

Revisemos globalmente algunas de las ideas de los llamados "padres" de los Estudios Culturales —Richard Hoggart, Raymond Williams y Richard Thompson— con respecto a la cultura y, en particular, a esta concepción de la baja cultura.

En las obras de los tres se resalta el valor que tiene en la construcción de una crítica social en torno a la relación sociedad/cultura, el análisis de las formas de vida, las costumbres, el entretenimiento y todas aquellas manifestaciones cotidianas de la clase obrera en el contexto de la Inglaterra de los años cincuenta del siglo XX, sin por ello rechazar el análisis del papel de la alta cultura, planteándose una "tensión" entre los dos conceptos, punto de debate durante mucho tiempo de los Estudios Culturales (Hall, 1997).

Así, por ejemplo, Hoggart, en su obra *La cultura obrera en la sociedad de masas* analiza la manera como se instaura "el nuevo arte de masas" como la literatura popular, los periódicos, las revistas y la música en la clase obrera y, particularmente, en los jóvenes. Y crítica y reconoce, no sin algo de nostalgia, cómo la aparición de esas nuevas expresiones culturales están acabando con las manifestaciones tradicionales, es decir, con la alta cultura (Hoggart, 1990).

Un aspecto que vale la pena resaltar sobre el libro de Hoggart, es que allí se rescata el valor de las experiencias de los individuos, así como el de la visión personal en el estudio de la cultura más allá de su carácter de análisis científico. Así lo menciona el mismo Hoggart al presentar su obra: "[...] este libro se basa en buena parte en experiencias personales y no pretende poseer el carácter científicamente experimentado de la investigación sociológica [...]. Hay incluso momentos en los que otros piensan de modo diferente a partir de experiencias semejantes a las mías" (Hoggart en Grand, 2006).

Esas nuevas expresiones culturales que el autor analiza presentan unas condiciones que en nuestro tiempo ya son comunes en muchas de las expresiones de las grandes industrias culturales, el privilegio por lo fácil, el estereotipo y el establecimiento de situaciones, lenguaje y características que le permitan a la gente identificarse y reconocerse en ellas, que no les implique mayor esfuerzo intelectual y, sobre todo, que presenten los mundos "feliciter" y perfectos que es la realidad no se tienen. A este tipo de condiciones es a las que se refiere el componente cultural de las corrientes noicofuncionales.

Por su parte Williams, para quien la palabra "cultura" es una de las tres más difíciles de la lengua inglesa, propone tres definiciones de la

misma partiendo del desarrollo histórico de la palabra; dos de ellas revelan su relación directa con los conceptos de alta y baja cultura que venimos desarrollando. En la primera definición se entiende la cultura como "[...] el sustantivo independiente y abstracto que describe procesos generales de desarrollo intelectual, espiritual y estético"; en la segunda como "[...] el sustantivo independiente, usado ya sea general o específicamente, que indica una forma particular de vida, de gente, de un período o de un grupo" y, en la tercera, "[...] el sustantivo independiente y abstracto que describe trabajos y prácticas de actividades intelectuales y especialmente artísticas" (Williams, 1976: 76).

Dada la relación de Williams con la teoría marxista y su extracción de clase, el concepto de cultura que le va a interesar es aquel que la entiende "[...] como expresión 'orgánica' de formas de vida y valores compartidos que no pueden ser reducidas a ser epifenómeno de las relaciones económicas" (Castro-Gómez, 2006: 2), con lo cual se aparta del debate entre alta y baja cultura, y trabaja más en la relación de este concepto con el marxismo y, en particular, con la economía. Crítica el hecho de que solo se la vea como parte y en relación con aquella disciplina, y no como un objeto de estudio independiente e importante para analizar la sociedad.

En esa misma línea trabaja Thompson, en particular en lo que considera el vacío del marxismo:

[...] mi principal preocupación a lo largo de toda mi obra ha sido la de abordar lo que para mí es el gran silencio de Marx. Un silencio en el ámbito de lo que los antropólogos Berman "el sistema de valores" [...]. Un silencio en relación con las mediaciones de tipo cultural y moral. El trabajo de Thompson puede describirse como el preludio a una historia centrada en la vida y en las prácticas de resistencia de las clases populares (Maffei y Neveu, 2004: 40).

Para él los puntos de partida son, por una parte, los conceptos de "cultura" y de "no cultura" y, por otro, el papel de la experiencia y la conciencia de clase. "La interacción dialéctica entre el ser social y la conciencia social —o entre "cultura" y "no cultura"— se encuentra al centro de cualquier comprensión del proceso histórico dentro de la tradición marxista" (Hall, 1994: 7). Identificando cada forma de lucha de clases como una expresión cultural, y cada modo de producción como una cultura.

Estas formas de entender tanto la baja cultura como la cultura en general, serán desarrolladas y trabajadas desde una perspectiva más "etnográfica" por la siguiente generación de autores de los Estudios Culturales. Sin embargo, para efectos de la revisión del componente cultural y de la integración lengua y cultura en las metodologías noicofuncionales, más allá de la inclusión de situaciones de la vida cotidiana, en las cuales se resaltan los aspectos que presentan un nivel de regularidad, no hay integración de otros elementos culturales.

Es decir, el componente cultural con el que se trabaja es un estereotipo, donde el comportamiento lingüístico y cultural que se enseña es estandarizado: se asume que las situaciones en las cuales el



aquí se mantiene la gran pregunta que seguirá vigente en todos los tiempos, dado el carácter complejo y dinámico de la cultura:

¿qué es cultura?



nueva valores de curiosidad profunda, respeto y valoración por las visiones de mundo, valores, intereses y saberes de los demás (2009: 133).

Por su parte, Miquel R. Alsina propone los siguientes elementos como indispensables para una comunicación intercultural eficaz:

- Una lengua común
- El conocimiento de la cultura ajena
- El re-conocimiento de la propia cultura
- La eliminación de prejuicios
- Ser capaz de empatizar
- Ser capaz de reconocer la contradicción como espacio de comunicación
- Tener una relación equilibrada (2009: 93).

En relación con el concepto específico de competencia comunicativa intercultural (CCI), este no ha sido trabajado por muchos autores en el contexto de enseñanza de lenguas extranjeras, y su inclusión como tema de interés de la lingüística aplicada es relativamente reciente (año 2000). Amino Fantini, doctor en lingüística aplicada de la Universidad de Texas, parece ser uno de los que más se ha interesado por analizarlo, así como por estudiar la manera como se puede poner en práctica en un aula de clase de enseñanza de lenguas extranjeras.

Según él, un objetivo para desarrollar la CCI requiere tener en cuenta las dos áreas: la de la lengua y la de la intercultural; sin embargo, asegura que ahí surge el primer problema:

[...] tradicionalmente los [...] teóricos de la intercultural le han dejado la tarea de desarrollar la competencia en la lengua a los profesores de idiomas y estos, a su vez, le han dejado a los "interculturalistas" la tarea de desarrollar las habilidades interculturales, a pesar del amplio conocimiento que se tiene sobre la dimensión inseparable y la interrelación entre la lengua y la cultura (2000: 3).

En el artículo de Fantini también se explora el pensamiento actual sobre la naturaleza de la competencia intercultural, y sus implicaciones para la educación y el entrenamiento de quienes trabajan en contextos internacionales e interculturales; además resalta la mayor conciencia que existe actualmente en relación con la importancia y necesidad de la preparación "trans-cultural" para asegurar la efectividad al vivir, viajar o trabajar en el extranjero y cómo, por esta razón, el desarrollo de la competencia intercultural y la competencia en segunda lengua son aspectos centrales, objeto de enseñanza e investigación.

Sobre el concepto de CCI dice que, aunque es ampliamente usado en el contexto de la comunicación intercultural, aún no hay acuerdo sobre su definición. En lo que sí parece haber más afinidad es en la naturaleza de "doble vía" de la experiencia intercultural. "Es decir, el desarrollo de la competencia en otra cultura y la competencia en su lengua da la oportunidad de reflexionar profundamente sobre la propia" (ídem, 2000: 2).

Para él, aunque la CCI ha sido caracterizada de diferentes maneras, hay tres temas o dominios de habilidad que emergen: "1) la habilidad para desarrollar y mantener relaciones, 2) la habilidad para comunicarse efectiva y apropiadamente con pérdidas y distorsiones mínimas, y 3) la habilidad para lograr conformidad y obtener colaboración de otros" (ídem, 2000: 3).

Además de los tres dominios, la competencia comunicativa intercultural también es "con frecuencia descrita con una variedad de características (rasgos), en al menos cinco dimensiones y puede ser vista como un proceso de desarrollo" (ídem, 2000: 3). Según este mismo autor, en las características es donde se evidencian las habilidades interculturales por medio de una serie de manifestaciones de comportamiento que en general incluyen: "[...] el respeto, la empatía, la flexibilidad, la paciencia, el interés, la curiosidad, la apertura, la motivación, el sentido del humor, la tolerancia hacia la ambigüedad, la buena disposición para dejar de juzgar, entre otras" (ídem, 2000: 4). Como se ve, son condiciones

que se relacionan bastante con las mencionadas por Mato y Alsina.

En cuanto a las cinco dimensiones, estas son: *Awareness* (conciencia crítica), *Attitudes* (actitudes), *Skills* (habilidades), *Knowledge* (conocimiento), (*A-ASK*) y *proficiency in the host tongue* (competencia en la lengua anfitriona). Para muchos estudiosos de la interculturalidad, la conciencia crítica (*awareness*) es la piedra angular de la que dependen la efectividad y las interacciones apropiadas. Su desarrollo es importante para quienes quieren trabajar la competencia comunicativa intercultural, pues dependiendo del grado y la manera como se practique con ella, se afectará la competencia intercultural.

El proceso de desarrollo de la CCI, una vez iniciado, continúa a veces durante toda la vida, y aunque algunos experimenten momentos de retroceso o fossilización, generalmente no se trata de un punto final porque siempre se estará en el proceso de llegar a ser; nunca se llegará a ser del todo hábil interculturalmente, de la misma manera que ser muy fluido en una lengua extranjera, no significa un desenvolvimiento igual al del nativo. Por lo anterior, la competencia intercultural es explorada en términos de contacto trans-cultural y procesos de entrada, opciones disponibles, selecciones que uno hace y las consecuencias resultantes.

El desarrollo de la competencia intercultural parece ser un tema relacionado también con la toma de decisión personal: el progreso y la adaptación a una segunda cultura depende de lo que cada uno disponga para ello. La decisión individual puede ir del rechazo de la cultura objeto, hasta el ajuste cultural superficial y algunas veces profundo.

Quienes aprenden a funcionar de la misma manera, o parecida a como lo hace el nativo, pueden ser prohibidos o aceptados como miembros de la sociedad anfitriona; y quienes se adaptan contextualmente a dos culturas de esta manera, tienden a ser bilingües biculturales, es decir, individuos que se sienten cómodos y son aceptados por los miembros de cada contexto. Los que se adaptan hasta perder su propia identidad son casos de asimilación, y los que cuestionan su identidad como miembros de un grupo experimentan un estado de anomia donde los lazos hacia una de las dos culturas pueden disminuir o perderse.

A manera de conclusión, el autor presenta como reto y posibilidad para docentes y estudiantes el desarrollo de la competencia comunicativa intercultural, puesto que ofrece la posibilidad de trascender la visión limitada del mundo propio. Quien no ha experimentado otra cultura o no ha intentado comunicarse por medio de otra lengua, no es generalmente consciente del medio en el que ha vivido.

## Referencias

- Alsina, M. R. (2007). "La comunicación intercultural", en <http://www.aulaintercultural.org/IMG/pdf/comintercultural.pdf>. Recuperado en marzo de 2007.
- Castro-Gómez, S. (2006). "Althusser, los estudios culturales y el concepto de ideología", en <http://www.oel.es/salactsi/castrog.htm>. Recuperado en abril de 2006.
- Equipo Pedagógico Nebrija (1998). *Didáctica del español lengua extranjera*. Editorial Antonio de Nebrija, Madrid.
- Fantini, A. E. (2000). "A Central Concern: Developing Intercultural Competence", en <http://www.sit.edu/publications/docs/competence.pdf>. Brattleboro, VT, USA. Recuperado en noviembre 2004.

Quien no ha experimentado otra cultura o no ha intentado comunicarse por medio de otra lengua, no es generalmente consciente del medio en el que ha vivido.

- Hall, S. (1997). *Representation. Cultural Representations as Signifying Practices*, Sage and Open University, London.
- \_\_\_\_\_. (1994). "Estudios Culturales: dos paradigmas", en *Revista Causas y Añores*, No. 1, en biblioteca virtual universal <http://www.biblioteca.org.ar/libros/131827.pdf>. Recuperado en febrero de 2006.
- Hoggart, R. (1990). *La cultura en la sociedad de masas*, Grijalbo, México.
- Grandi, R. (2006). "Los estudios culturales: entre texto y contexto, cultura e identidad", en <http://www.nombrefalso.com.ar/apunte.php?id=19>. Recuperado en junio 2006.
- Mathew, A. (1932). *Culture and Anarchy*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Mato, D. (2005). "Interculturalidad, producción de conocimientos y prácticas socioeducativas", en [http://publicaciones.puc-rio.br/revistaalceu/media/Alecu\\_n11\\_Mato.pdf](http://publicaciones.puc-rio.br/revistaalceu/media/Alecu_n11_Mato.pdf). Recuperado en abril 2007.
- Mattelart, A. y Neveu E. (2004). *Introducción a los Estudios Culturales*, Paidós Ibérica, Barcelona.
- Puren, Ch. (1988). *Histoire des Methodologies de l'enseignement des langues*, Cle International, Paris. [traducción propia].
- Universidad Antonio de Nebrija, (1998). *Mimeo del curso Metodología en la enseñanza de español como lengua extranjera, el componente cultural en los diferentes enfoques*, Madrid.
- Williams, R. (1976). "¿Qué significa cultura?", en *Keywords*, Fontana, Londres.



© Susana Carne

## SUSCRIBASE A LA REVISTA Innovación y Ciencia



La Revista *Innovación y Ciencia*, cuenta desde su aparición en octubre de 1992, con una gran acogida por parte del público y se ha convertido en un valioso instrumento de capacitación y actualización para sus lectores. El lenguaje divulgativo con que se tratan los temas científicos ha despertado entusiasmo palpable por la ciencia y sus aplicaciones. Está dirigida a empresarios, profesionales, científicos, docentes y estudiantes y, en general, a todos los lectores no especializados que buscan un tratamiento serio, ameno y accesible de temas científicos y tecnológicos de actualidad.

VALOR DE LA SUSCRIPCIÓN POR UN AÑO PARA FUERA DE BOGOTÁ  
\$55.000 INCLUYE COSTO DE ENVÍO

VALOR DE LA SUSCRIPCIÓN POR UN AÑO PARA BOGOTÁ  
\$50.000 INCLUYE COSTO DE ENVÍO

CONSIGNACIÓN EN: BANCO DE OCCIDENTE CUENTA DE AHORROS N° 26880746 - 8, A NOMBRE DE LA ASOCIACIÓN COLOMBIANA PARA EL AVANCE DE LA CIENCIA, SOLICITAMOS ENVIAR COPIA DE LA CONSIGNACIÓN CON EL SELLO DEL BANCO LEGIBLE AL TELEFAX (1) 221 9963

USTED PUEDE CANCELAR TAMBIÉN CON TARJETA DÉBITO O CRÉDITO,  
SIMPLEMENTE NOS ENVÍA UN CORREO HACIÉNDONOSLO SABER.

### INFORMES

Tel: 221 4331 - 315 0724  
E-mail: [innovaciony@asac.org.co](mailto:innovaciony@asac.org.co)  
[www.asac.org.co](http://www.asac.org.co)

PUBLICACIÓN DE LA  
ASOCIACIÓN COLOMBIANA  
PARA EL AVANCE DE LA CIENCIA

# ¿Quién sabe sobre qué investiga usted, doctor?

GERMÁN CUBILLOS ALONSO

Químico, UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
Editor, INNOVACIÓN Y CIENCIA

[gercubillos@hotmail.com](mailto:gercubillos@hotmail.com)

## 1

En el momento en que se puede proponer el nacimiento de la ciencia moderna, es decir, a comienzos del siglo XVII, el entusiasmo de Bacon al declarar que "[...] la ciencia del hombre es la medida de su potencia porque ignorar la causa es no poder producir el efecto" (Bacon, 1979: 33) y "Lo que es más útil en la práctica, es al propio tiempo lo más verdadero en la ciencia" (Bacon, 1979:124), tuvo suficiente eco social y cultural como para que se pensara que la ciencia era el mejor de los saberes y tuviera gran reconocimiento público. En el siglo XIX, aquel entusiasmo de Bacon había sido justificado por el gran impacto de la ciencia en la producción y en el mejoramiento de las condiciones existenciales de los individuos. No menos importante para ese reconocimiento social era la permanente divulgación de la ciencia mediante conferencias, revistas, libros, foros y experimentos públicos. Además, Julio Verne, en la segunda mitad del siglo, inaugura y desarrolla de manera brillante y prolífica una literatura de ficción que recogió los avances de aquella y los entretiene hábilmente con la fantasía, sin dejar de ser, en buena medida, divulgación de la misma. Era una ciencia amable y divertida.

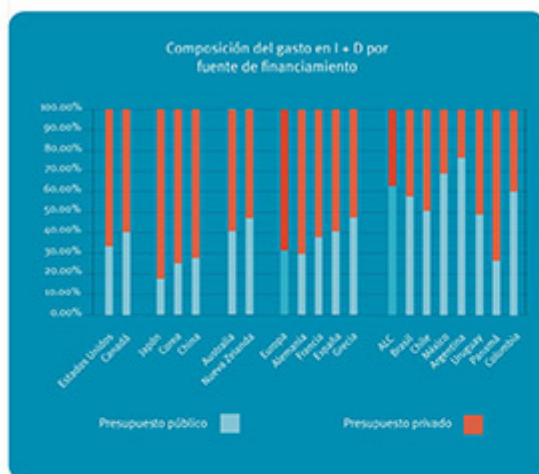
No obstante, al ingresar en el siglo XX, las comunidades científicas se fueron alejando paulatinamente de los públicos legos y, al final del siglo, estos observaron con sospecha los proyectos de la ciencia a partir de los terribles resultados de la energía atómica, la utilización incontrolada de combustibles fósiles y de insumos agroquímicos agresivos con el medio ambiente y la salud humana. En el siglo XXI ya es evidente que develar el genoma humano y haber desarrollado las tecnologías de la clonación y la ingeniería genética es tanto un logro como una amenaza, razón por la cual la sociedad le pide a los científicos compromiso social y solidaridad con la humanidad y con el planeta.

## 2

La investigación científica en nuestra época es una empresa social de enormes proporciones, tanto por su infraestructura como por los gastos que supone y las transformaciones que puede producir sobre nuestro entorno. En los países desarrollados la inversión en esta actividad proviene, por una parte, del Estado y, por otra, tal vez más grande, de los dueños de la empresa privada, quienes desde el mismo inicio de la era industrial entendieron que todo proceso de desarrollo económico y social es más eficiente si está basado en la ciencia, y que la inversión en esta es más rentable hacia el futuro. En la página del Ministerio de Educación de Colombia (2008) una noticia señala que Kei Kozumi, director del R&D Budget and Policy Program de la American Association for the Advancement of Science (AAAS), presentó el presupuesto federal destinado a la ciencia y tecnología en Estados Unidos, y afirmó que "[...] en este momento dos tercios de los procesos de investigación son financiados por el sector privado".

Tabla 1.

Fuente: OECD y Secretaría de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva - SECTIP, Argentina (2003).



Pero ¿qué ocurre en nuestros países latinoamericanos? Las industrias grandes que pueden financiar investigación no son nuestras, pertenecen a los emporios de capitales globales y sus centros de investigación están en los países desarrollados; por lo tanto, no les interesa financiar investigación en los nuestros o, por lo menos, no de forma amplia y sostenida.

Al plantear la situación de esta manera, la financiación de la investigación viene de parte del Estado, no queremos decir cosa distinta a que la financia toda la población que paga sus impuestos, pues una pequeña parte de ese aporte social es la que se destina a la investigación científica. Sin embargo, surge otra pregunta: ¿qué ocurre con la investigación que se hace en Colombia y su relación con la generación de conocimientos que permita mejorar las condiciones sociales como producto de descubrimientos importantes, tanto en el ámbito de la ciencia misma como en el de la solución de problemas concretos de la sociedad? No lo sabemos.

Lo ignoramos del todo pues la comunicación de la ciencia se da casi únicamente entre pares, es decir, que los investigadores les cuentan a sus comunidades científicas qué están investigando, y someten los resultados de esos esfuerzos a los evaluadores internos de la comunidad científica para que sus resultados sean corroborados. En esa medida se trata de ganar el consabido prestigio y reconocimiento de quien logra algún nuevo conocimiento, así no sea ni tan trascendental ni tan aplicable.

No obstante, indagando aquí y allá, a partir de las estadísticas que realizan las instituciones encargadas de inventariar programas de investigación, cantidad de profesionales con maestría y doctorado, investigadores de dedicación exclusiva, artículos en revistas especializadas, patentes propuestas y otorgadas, se puede establecer grosso modo un estado de la investigación en América Latina y, particularmente, en Colombia. Por ejemplo, la consulta de algunos de los datos de estas instituciones nos aporta este panorama:

América Latina: patentes concedidas (2005)

	Residentes	No residentes	Total
Argentina	306	1.482	1.788
Brasil	4.294	3.426	7.720
Chile	46	591	637
Colombia	7	249	256
Venezuela	7	91	98
Perú	13	492	505
Ecuador	0	45	45

Tabla 2.

Fuente: Rycit (Red Iberoamericana de Indicadores de Ciencia y Tecnología).

Gasto en ciencia y tecnología en millones de dólares americanos

2003	2004	2005	2006	2007		
600,7	750,7	963,1	1.233,9	1.593,2	STA	Argentina
531,5	670,0	844,1	1.059,8	1.332,5	R&D	Bolivia
					R&D	Brasil
6.952,6	8.218,5	11.204,9	13.967,2	19.201,9	STA	Brasil
5.292,1	5.970,4	8.567,5	10.871,6	14.649,9	R&D	Canadá
17.643,2	20.624,6	23.224,1	25.313,8	24.945,2	R&D	Chile
493,4	644,7				R&D	Colombia
321,4	447,0	662,8	667,0	683,5	STA	Colombia
141,5	178,7	229,6	252,4	275,5	R&D	Costa Rica
147,0	185,4		284,0	313,4	STA	Costa Rica
62,5	69,4		87,6	80,8	R&D	Cuba
364,6	381,3	388,1	385,8	423,6	STA	Cuba
209,1	230,1	234,2	232,8	255,6	R&D	Ecuador
49,1			84,8	99,7	STA	Ecuador
18,6			60,2	66,8	R&D	

Tabla 3.

Fuente: Rycit (Red Iberoamericana de Indicadores de Ciencia y Tecnología).

En una presentación del subdirector de Programas Estratégicos de Colciencias, Alexis de Greiff Acevedo (2007), se aseguró que en cuanto a productividad científica se refiere, se encuentran algunos ejemplos de la participación de Colombia en revistas especializadas, pero estos son la tendencia general de nuestra presencia en todas las áreas:

Tabla 4

Fuente: BIOSIS.



Tabla 5

Fuente: Inspec, base de datos del Instituto de Ingeniería y Tecnología, IIT.



Tabla 6

Fuente: Publicaciones Chemical Abstracts.

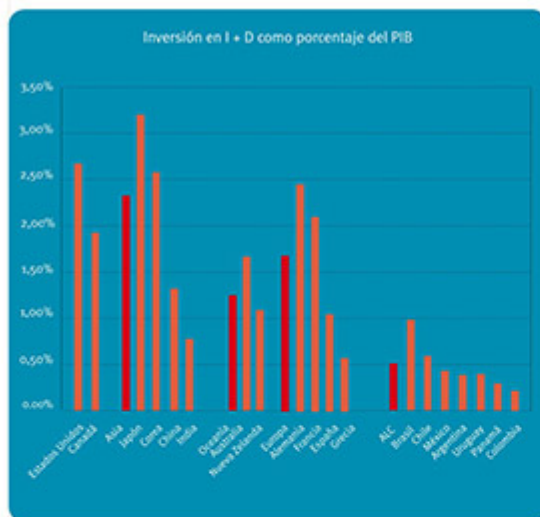


De estos y otros indicadores resulta que de los países que componen la región latinoamericana, el orden de mayor a menor en producción de ciencia es Brasil, México, Argentina y Chile. Colombia produce el 0,07% del total.

Naturalmente, la explicación de esta baja productividad tiene que ver con la escasez de los recursos destinados a la financiación de proyectos, con la formación de doctores tanto en el exterior como en Colombia, y con la incentivación a los investigadores que trabajan en el exterior para que regresen al país a promover y desarrollar su proyecto.

Tabla 7.

Fuente:  
OECD  
y Secretaría  
de Ciencia,  
Tecnología e  
Innovación  
Productiva -  
SECTEP,  
Argentina  
(2003).



Sin entrar a considerar otros factores que probablemente tienen mayor influencia, creo que una de las razones para que esta situación permanezca es que los científicos no le cuentan a la sociedad de qué se trata su trabajo, es decir, en qué se gastan el dinero destinado a la investigación que sale de los bolsillos de los ciudadanos. Ellos solo quieren publicar los resultados de sus investigaciones en revistas especializadas, indexadas y preferiblemente en inglés. Digamos que eso puede ser lícito si se tiene en cuenta que es la productividad recogida en esos espacios de difusión de la ciencia, la que les permite mantener sus puestos de trabajo en los institutos y las universidades, recibir alguna remuneración adicional por los puntos asignados a cada artículo publicado, y ganar un prestigio y promoción académica. Al final, lo que producen se transforma en un dato más de unas estadísticas como las que vemos arriba, al tiempo que el ciudadano común se queda sin saber sobre qué están investigando los doctores. Más grave aún, en los ámbitos gubernamentales el desconocimiento es peor. Esa es la principal razón del reclamo que se le ha hecho a los científicos, su falta de compromiso social. Pero ¿qué quiere decir este reclamo?

Si se supone que vivimos en una democracia, esto quería decir que la toma de decisiones debería residir en la voluntad colectiva que esté enterada de lo que sus miembros investigan y, que la ciencia es el fundamento para la transformación del país de la mano de sus investigadores. De esta manera, toda la sociedad abogaría por el fortalecimiento de la investigación científica como en algún momento lo hizo en Colombia por la libertad de los securstrados. Y no solamente eso, muy probablemente una población alfabetizada en la ciencia y la tecnología exigiría a los políticos que aspiran a gobernarlos, programas que tuvieran en cuenta la investigación y el desarrollo científico y tecnológico. Claro, esos políticos también deberían estar enterados sobre los estudios de los investigadores colombianos.

No es gratuito que Brasil y México estén en los primeros lugares de productividad científica en América Latina. Un investigador brasileño cuenta, hace más de quince años, que en su país los científicos más destacados hacían conferencias de divulgación de la disciplina en los salones parroquiales después de la misa dominical, y el programa "Ciencia desde México" que luego se transformó en "Ciencia para todos", desde principios de los años noventa y hasta hoy ha publicado más de doscientos libros de divulgación científica, escritos también por los investigadores mexicanos de primera línea.

Eso contrasta fuertemente con lo que ocurre en Colombia. Ni a Colciencias, ni a las universidades, ni a la mayoría de los investigadores les parece serio hacer divulgación de la ciencia. Aunque es cierto que varias universidades tienen un periódico, un boletín, o una revista de bajo tiraje y periodicidad dedicada a la promoción de la ciencia, también es cierto que las revistas de divulgación no tienen el estatus de las especializadas y no están indexadas ni adecuadamente reconocidas en Colciencias. En las universidades estatales no se les otorgan puntos a los profesores que escriben artículos para ellas, por lo tanto no les resulta atractivo escribir artículos de divulgación (aunque la retribución económica no debería ser el criterio principal para escribirlos). No obstante, la historia muestra la importancia que la divulgación ha tenido en la ciencia moderna y contemporánea.

Está claro que en la Royal Society del siglo XVII se hacían sesiones de divulgación de la ciencia permanentes con demostraciones experimentales rigurosas, y con salidas llenas de públicos burgueses deseosos de saber. Fueron famosas en el siglo XIX las conferencias de Davy y de Faraday quienes conquistaban grandes públicos hablando y haciendo demostraciones de electricidad, de electroquímica y de inducción electromagnética. Einstein escribió un libro de divulgación para que los no especialistas logaran, por lo menos, vislumbrar lo que su teoría de la relatividad proponía; Richard Feynman, uno de los físicos más destacados de todos los tiempos, premio Nobel de Física como Einstein, dedicó buena parte de su vida profesional a divulgar las ciencias físicas en conferencias y libros ya clásicos, y Carl Djerassi, químico muy conocido por su contribución al desarrollo de la píldora anticonceptiva, ha escrito cerca de una decena de libros entre autobiográficos, ensayos de divulgación y del género que él ha denominado "Ciencia en ficción". Uno de estos libros, *Orígenes*, es una obra de teatro escrita con Roldán Hoffmann, premio Nobel de Química en 1981.

Estos son ejemplos de científicos bien conocidos a lo largo de la historia que entendieron el valor de la divulgación de la ciencia. Afortunadamente, en otras latitudes se valora cada vez más y va aumentando el número de investigadores que creen que la sociedad debe saber qué hicieron los científicos del pasado y qué es lo que ellos mismos están haciendo, así como el número de personas que descubren la necesidad de contar aquello en un lenguaje no especializado que puedan entender aquellos que no pertenecen a la comunidad científica.

Pero el compromiso social del científico va más allá. Si la vida del siglo XXI está penetrada hasta lo más profundo por la ciencia y la tecnología contemporáneas, los habitantes de este mundo necesitan enterarse de las posibilidades, los límites y, sobre todo, los riesgos de su evolución y desarrollo. No obstante, frente a la complejidad de estos productos culturales, solo la traducción de esos saberes a un lenguaje común por parte de los mismos investigadores y de los profesores de ciencias, le permitirá a la mayoría entender, hasta cierto punto, una parte importante de esos contenidos. Este es un compromiso ético y político de los científicos.

Aunque es cierto que varias universidades tienen un periódico, un boletín, o una revista de bajo tiraje y periodicidad dedicada a la promoción de la ciencia, también es cierto que las revistas de divulgación no tienen el estatus de las especializadas y no están indexadas ni adecuadamente reconocidas en Colciencias.

Más allá del ámbito educativo, el anfibio cultural es alguien capaz de obedecer a sistemas de reglas parcialmente divergentes sin perder integridad intelectual y moral. Es esta integridad la que le ayuda a seleccionar y jerarquizar fragmentos de conocimiento y de moralidad en un contexto para traducirlos y hacer posible su apropiación en otro.

Sin embargo, en esta dirección del discurso, es válido retomar la reflexión que hacen Heredia y Gómez, al respecto:

¿Son válidos todos los científicos para llevar a cabo esta tarea? Probablemente no, como tampoco todos pueden ser óptimos gestores de la interfaz entre ciencia y empresa. Pero aunque no podamos esperar una labor divulgativa óptima de todos los científicos que en el mundo han sido, sí podemos mejorar la situación en dos frentes: en primer lugar, el de la interacción entre científicos y profesionales de la información y la comunicación; y en segundo lugar, en el de la formación y potenciación de científicos generalistas, porque como dice textualmente Ortega, siempre actual, "... hay que criar y depurar un tipo de talentos específicamente sintetizadores que liven a cabo el trabajo, también científico, de concentración y simplificación del saber" (2000: 40).

No es otro cosa lo que propone Antanas Mockus en su concepto de "anfibios intelectuales":

Más allá del ámbito educativo, el anfibio cultural es alguien capaz de obedecer a sistemas de reglas parcialmente divergentes sin perder integridad intelectual y moral. Es esta integridad la que le ayuda a seleccionar y jerarquizar fragmentos de conocimiento y de moralidad en un contexto para traducirlos y hacer posible su apropiación en otro (2000: 146).

Es decir, teniendo la formación científica, el divulgador selecciona y traduce los valores y los saberes de las ciencias y, sin deformarlos, los reestructura para llevarlos al contexto social de la vida cotidiana. Es una labor específica que no necesariamente deben hacer todos los investigadores, de la misma manera que no se debería suponer que todo profesor universitario, por el solo hecho de serlo, debe hacer investigación científica. Muchos

pueden querer ser solo divulgadores y esta decisión debería ser respetada y su labor reconocida, tanto como la del investigador.

3

Como conclusión de esta reflexión sobre la necesidad de la divulgación de la ciencia en la sociedad, se puede proponer que, si bien hubo una época en que la disciplina era reconocida como el fundamento de la evolución de la sociedad, pues había mostrado su potencia transformadora y quienes la producían se preocupaban por divulgarla, en nuestra época el gran público no solamente desconoce qué es lo que sus científicos hacen, sino que a partir de la experiencia cotidiana de deterioro del planeta y la intensificación del hambre y de la guerra la ven más como un monstruo difuso, prepotente, depredador y desconectada de su matriz humana, de la que más vale la pena alejarse.

## Referencias

- Bacon, F. (1999). *Novum organum*. Fontanela, Barcelona, España.
- Ministerio de Educación Nacional (2008), empresa privada, Actor clave en innovación científica, Colombia, disponible en <http://www.mineducacion.gov.co/cvn/1666/articulo-158024.html>. Recuperado el 15 de agosto de 2009.
- De Greiff, A. (junio 6 de 2007). Panorama de la productividad científica de Colombia, presentación de power point, Colciencias, Bogotá, disponible en <http://www.colciencias.gov.co/portalcot/downloads/archivosContenido/548.pdf>. Recuperado el 15 de agosto de 2009.
- Heredia, A. y Gómez, P. (2002). "El ethos del científico en el siglo XXI: carta abierta por un compromiso de participación de la ciencia en la sociedad", en periódico *El País*, España, disponible en <http://www.cienciateca.com/ethosxxi.html>. Recuperado el 10 de octubre de 2008.
- Mockus, A. (2000). "Anfibios culturales y divorcio entre ley, moral y cultura", en *Transformación social y transformación de la Universidad. Los reformas académicas de 1965 y 1989*. División académica y cultural, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.



# Parásitos cibernéticos obligados

Virus biológicos y virus informáticos llaman la atención de los virólogos

MARÍA FERNANDA GUTIÉRREZ

PROFESORA TITULAR  
DEPARTAMENTO DE MICROBIOLOGÍA  
PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA

mfgutler@javeriana.edu.co

**D**urante la época escolar, entre los grados séptimo y noveno, cuando estamos cursando la asignatura de biología, llegamos al tema de las células eucariotas y procaríotas. Estudiamos sus características y la mayoría de veces terminamos haciendo un cuadro comparativo entre ellas. En mi caso, recuerdo que tenía una página para las semejanzas y otra para las diferencias. Más adelante, cuando cursaba la asignatura de virología en la universidad, la tarea fue recordar aquellos datos e incluir a los virus para poder encontrar semejanzas y diferencias con las células. El gran impacto lo tuve cuando hallé muy pocas semejanzas y muchas diferencias, lo cual no es tema de este artículo. Pues bien, para escribir este texto resolví remitirme de nuevo a aquellas páginas e incluir una columna más: la de los virus informáticos.

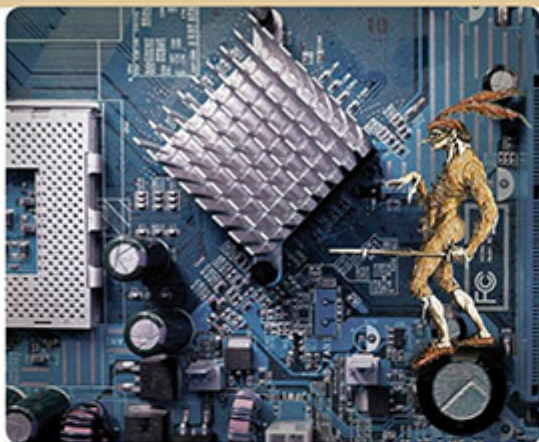
Para empezar pongo en consideración estas denominaciones: virus biológicos y virus informáticos, que en este caso llamaré cibervirus. Con más de veinte años como docente de virología, no se me había ocurrido el pleonismo de darles a los virus la característica de biológicos. La definición más aceptada para un virus es la de ser "parásito intracelular obligado", lo cual implica que necesita de la célula para poder reproducirse y, una vez sale de esta, busca otra para continuar con su proceso de multiplicación. Este es su ciclo de vida y lo enmarca inmediatamente en lo biológico. Pero bueno, acepto este pleonismo solo porque la idea es compararlo con otro tipo de virus: los informáticos. Este nombre les fue adjudicado aparentemente por su similitud con los biológicos, y por ser pequeños programas que requieren de computadores para reproducirse y cumplir su función, hecho que me permite definirlos como "parásitos cibernéticos obligados". Al revisar el diccionario de la Real Academia de la Lengua Española, encontré como definición de cibernético: "Creado y regulado mediante computadora u ordenador" o "Perteneciente o relativo a la realidad virtual", lo cual coincide con lo que estamos hablando (RAE, 2001).

Profundizando un poco más en el nombre y en el impacto que causan, podemos entender el porqué a alguien se le ocurrió utilizar la palabra virus, cuando esta ya se había adjudicado a unos agentes patógenos para los seres vivos que se caracterizan por provocar enfermedades y miedo en la población. Pues bien, para los informáticos el computador es el individuo, los discos duros podrían asemejarse a sus órganos y los programas computacionales a las células. Es en estos últimos donde ingresan los cibervirus a nuestra historia.

Los cibervirus, también conocidos como malware o software maliciosos, son pequeños programas desarrollados para dañar computadores, borrar datos, robar información o modificar el proceso operativo normal del computador. Su comportamiento en la red puede ser estudiado usando los mismos modelos epidemiológicos que hemos utilizado desde las ciencias de la salud, en estudios de propagación de enfermedades (Piqueira y Vasconcelos, 2009).

Cuando hablamos de virus se nos ocurren tres características: infeccioso, patógeno y virulento. Infeccioso es la capacidad que tiene de transmitirse de un individuo a otro o de célula a célula; patógeno la de hacer daño, y virulento es el mayor o menor grado de patogenicidad. Estas tres características las comparten los dos actores de este documento.

Los efectos de los virus biológicos han sido conocidos a lo largo de la historia y varios siglos antes de la llegada de Cristo; de hecho, se encuentran esculturas y cuadros donde se evidencian egipcios con síntomas de viruela y poliomielitis. Desde ese entonces, epidemias mortales de viruela causaron la muerte de miles de personas, hasta que Edward Jenner introdujo la vacuna a finales del siglo XVIII, que sin duda alguna habría sido merecedora de un premio Nobel en la actualidad. El nivel de población de los virus llegó a ser muy alto; las personas morían de rabia, las vacas de fiebre alta, el virus del herpes se consolidaba como una infección sexualmente transmisible, el de la rubéola se volvía famoso por el daño causado en los embriones durante su vida intrauterina. La aparición del HIV, a mediados de los años setenta, constituyó una de las grandes pandemias mundiales con alto nivel de mortalidad, y actualmente observamos cómo la influenza ocupa importantes espacios en los noticieros de todo el mundo. Sin embargo, este boom viral ha quedado increíblemente opacado por la aparición, en 1980, de los cibervirus.



Los virus de computador se remontan a finales de los años cincuenta en los laboratorios de la Bell Computer, pero solo a partir de 1984 fueron reportados por Fred Cohen en un artículo titulado "Experiments with Computer Viruses" (Cohen, 1982). Desde ese entonces han sido tema de películas, libros de ciencia ficción, tópicos de profundo estudio en las facultades de Ingeniería, y un importante problema para quienes utilizamos los computadores como herramienta de trabajo o de diversión. Si bien hay varios reportes donde se describe el primer virus diseñado, uno de los más populares es el denominado Elk Cloner, fabricado por Rich Skrenta en 1982, y que se difundió por medio de disquetes. Con el desarrollo y la globalización mundial en comunicaciones que ha llevado al incremento en el uso de los computadores y de otros sistemas de comunicación, como los teléfonos celulares, los MP3, los videojuegos de PC, etc., los virus de computador han tomado una gran importancia por su alto poder destructivo, y por las grandes pérdidas económicas que se generan en las empresas y en los individuos (Cohen, 2000; Piqueira y Vasconcelos, 2009).

Tantos son los tipos de virus reportados en la virología clásica que, para tratar de estudiarlos, han sido clasificados de diversas maneras. La primera y más popular es con base a su ácido nucleico, es decir, si son RNA o DNA. La segunda está basada en su manera de reproducirse, lo cual implica tener que conocer cuántas cadenas posee su genoma y si estas son análogas o complementarias a una molécula de RNA mensajero. Una tercera clasificación se refiere tanto a su tropismo como a la sintomatología que producen, se los organiza en virus neurotrópicos, dermatotrópicos, hepatotrópicos, etc. En la cibervirología también existen varias clasificaciones y tipos de virus, una de las más populares fue descrita por Cohen, quien consideró que hay tres tipos clásicos. El primero son los virus propiamente dichos: pequeños programas capaces de reproducirse a sí mismos, infectando cualquier tipo de archivo ejecutable y sin conocimiento del usuario. Se implantan en cualquier programa y para su contagio requieren del contacto directo con otro equipo contaminado. Algo similar sucede con virus como los herpes o las hepatitis B y C: necesitan del contacto físico o compartir sangre o productos derivados de ella para pasar de un ser humano a otro. Estos cibervirus tienen una misión que les ha encomendado su programador, puede ser desde un simple mensaje hasta la destrucción total de datos.

El segundo tipo son los gusanos: programas peligrosos que se esparcen entre los computadores por medio de la red, sin requerir contactos de interacción directa. Su misión principal es reenviarse a sí mismos, lo cual, al principio, no afecta la información, pero sí consume amplios recursos del sistema, hasta saturar, e incluso bloquear el tráfico a sitios de Internet. A diferencia de la mayoría de virus, los gusanos se propagan por sí mismos, no se modifican u ocultan bajo otros programas. Se podrían asemejar a la influenza, al sarampión o a la rubéola en los que, si bien hay un individuo que lo porta, hay otro sensible a ser infectado, y no se requiere de un estrecho contacto entre ellos para la propagación viral. Una vez en el huésped, ambos tipos virales logran producir una infección autolimitada, con un daño tisular que generalmente es reversible.

El tercer tipo de cibervirus es el caballo de Troya: un programa potencialmente peligroso que se oculta dentro de otros para evitar ser detectado y se instala de forma permanente en nuestro sistema. Este tipo de software no suele realizar acciones destructivas por sí mismo, pero tiene la capacidad de capturar datos, generalmente contraseñas e información privada, y enviarlos a otro computador. Otra de sus acciones es dejar indefenso el sistema al interferir los antivirus y tomar así el control total del computador, sin siquiera estar cerca del mismo. Existe otro tipo de virus que podemos incluir como los spyware y los spywares: los primeros son como electrónicos no solicitados que se envían a múltiples usuarios con el propósito de hacer promociones comerciales o proponer ideas. Si bien no producen mayor daño al sistema, sí se roban sus recursos y ocupan espacios útiles para otro programa. Los segundos son espías que recopilan información de un usuario y la envían a quien maneja el programa; un spyware importante es el adware que, además de recolectar información, pone anuncios.

Al estudiar la morfología viral encontramos que un virus biológico está compuesto por un solo ácido nucleico, puede ser DNA o RNA, pero en ningún caso se encuentran presentes ambos. A ese ácido lo acompañan dos tipos de proteínas, unas no estructurales que suelen ser enzimas que inician los procesos de transcripción en la célula recién infectada, y unas estructurales que son las que forman el cápside viral y se insertan en la envoltura para darle identidad al virus y encontrar la célula a la cual va a penetrar durante su proceso de infección. La envoltura no es una estructura viral, es parte de la membrana lipídica que el virus "se roba" de la célula a la que infecta, por eso es una estructura adaptativa. Los cibervirus, pequeños programas de computador constituidos por algoritmos en los que se incluye lo que el diseñador desea generar, cuentan con una orden de "AutoEjec" que les permite ejecutarse en el programa donde se insertan, y un "AutoRun" que les da la posibilidad de correr y replicarse.

Ahora hablemos de cómo nos infectamos, cómo llegan los virus a los seres humanos y a los computadores, para luego describir el proceso del ciclo viral y su multiplicación. En los seres vivos, las dos principales vías de entrada de virus son la respiratoria y la digestiva; esto no significa que todos los virus realicen infecciones sintomáticas en estos sistemas, sino que desde allí migran hacia su diana blanco, generalmente utilizando la vía sanguínea. Otros virus pueden entrar por contacto sexual, por picadura o mordedura de un animal portador, por sangre o derivados sanguíneos, por compartir jeringas o utensilios contaminados, o por transferencia de la madre al feto por medio de la placenta. Con respecto a los cibervirus, las vías de transmisión han ido cambiando durante el desarrollo de las tecnologías informáticas y la aparición de instrumentos distintos al computador como celulares, videojuegos, memorias, etc. Así pues, hace unos años los disquetes transportaban virus pequeños que entraban en el sistema operativo y contaminaban todo, incluyendo archivos que podían viajar por correo electrónico y llegar a miles de equipos. También podían ingresar a la red mediante boletines informativos de origen desconocido. Más adelante, la gente adquirió la costumbre de descargar desde la red videos, documentos y videojuegos, sin saber que en ellos podía venir un virus. De hecho, el famoso caballo de Troya fue uno de los primeros y más agresivos virus que entró en nuestros computadores, y su síntoma fue borrar los discos duros.

Los virus de computador se remontan a finales de los años cincuenta en los laboratorios de la Bell Computer, pero solo a partir de 1984 fueron reportados por Fred Cohen en un artículo titulado "Experiments with Computer Viruses".

Una vez dentro del individuo, los virus biológicos requieren coincidencia de factores ambientales y genéticos para poder encontrar su tropismo (afinidad química entre el virus y la célula), infectar la célula y multiplicarse. Todo empieza por cuestiones del azar, los virus no tienen movimientos propios, a ellos los mueve el medio donde se encuentran. Por tanto, tratan de entrar en todas las células pero con poco éxito, ya que no todas tienen receptores que permitan el proceso de adhesión a su membrana celular y el de penetración al interior de la misma. Sin embargo, una vez logran encontrar la célula por la cual tienen tropismo, ingresan dejando su envoltura y su cápside. Esto se conoce dentro del ciclo viral como desnudamiento, les permite liberarse de sus capas protectoras, activar el genoma viral, inducir la replicación o, en su defecto, llevar el genoma viral hacia el DNA celular para insertarse y quedar latentes en la célula huésped. Los virus virtuales llegan a los computadores también por azar, por recibir discos o por abrir correos electrónicos infectados. Una vez adentro, necesitan encontrar su órgano blanco, lo cual implica que tampoco entran a cualquier parte del computador, solo a programas sensibles de recibirlos; esto implica que, en ambos casos, la especificidad es una característica que comparten los dos actores de este documento.

Cuando ha ingresado dentro del organismo o del computador, dos cosas son susceptibles de ocurrir. Los virus biológicos pueden, por un lado, realizar una activación del ciclo con la producción de nuevas progenies y la salida del virus con la lisis celular, ciclo conocido como lítico y asociado con una clara sintomatología, o, por otro, pueden quedar insertados dentro del genoma celular y volverse provirus que no se multiplican activamente, ciclo conocido como lisogénico en el que no hay sintomatología. Durante esta fase de latencia, el virus puede permanecer durante muchos años e incluso pasar por medio de células gaméticas hacia los hijos del individuo infectado, dando origen a virus endógenos que permanecen por varias generaciones y no se hacen evidentes sino muchos años más tarde, en individuos aparentemente no infectados. Para los cibervirus, la situación es muy similar. Ellos entran y se localizan en el programa al que infectan o simplemente en la memoria del equipo;

pueden generar problemas incluso con el equipo apagado o, una vez este se prende, se pueden introducir en el programa, activar ciertos comandos e iniciar su sintomatología. Esto implica que pueden hacer infección "lítica" o "lisogénica" y quedar como virus latentes. En la cibervirología este proceso se conoce como "bomba lógica", y es similar a una infección lenta en un ser vivo en la que el virus aparece después de un tiempo del contagio, como el HIV, y cuando produce sintomatología ya hay una infección severa en el huésped. Ahora abordemos el tema de la prevención y el tratamiento en las infecciones virales. Existen varias alternativas de prevención, las más usadas son el cuidado del medio ambiente, la higiene de los individuos y la vacunación. Esta última existe desde hace varios años y ha sido de gran utilidad para disminuir la presencia de ciertos tipos de virus en todo el mundo. Con esta práctica se ha logrado erradicar la viruela, se está trabajando por eliminar el polio y están en la lista de erradicación el sarampión y la rubéola. Teniendo en cuenta que las drogas antivirales son poco específicas, algo costosas y tóxicas, se prefiere implementar estrategias preventivas e invertir el dinero en campañas de vacunación y de educación a la población para cambiar los hábitos de comportamiento, incrementar el aseo, lavado de manos, recolección de basuras, buen manejo del agua, implementación de preservativos y control

de sangre y de sus derivados. Para los cibervirus, las prácticas de higiene también son importantes, estas incluyen no abrir archivos desconocidos y solicitar confirmación del emisor antes de su apertura; controlar los documentos que llegan por medio de la red, no conectar memorias y vacunar los computadores con documentos diseñados para tal fin.

En cuanto a la vacunación, vale la pena discutir si esos programas antivirus que compramos son vacunas o "drogas antivirales". En la virología clásica, las vacunas están constituidas por antígenos virales o segmentos de estos, que se inoculan previos a la llegada del virus y que tienen como fin inducir



una respuesta inmune y una memoria inmunológica a los individuos, y les permite quedar protegidos ante la llegada del virus patógeno. Así mismo, las drogas antivirales se administran una vez se ha tenido contacto con el virus y buscan atacarlo cuando este se encuentra dentro del individuo. Sobre los programas con antivirus cibernéticos, hay que decir que tienen un efecto doble, pueden trabajar como vacunas, impidiendo que el virus se inserte en el programa, o como droga, tratando de destruirlo directamente. Podríamos pensar que también tienen memoria y que son capaces de hacer reacciones cruzadas, pues bloquean virus que hayan sufrido pequeñas variaciones con respecto a su original. Al igual que para los virus biológicos, estos antivirales son contruados contra un número limitado de virus, de tal manera que nuevos cibervirus requieren nuevos antivirales; no obstante, si uno es un usuario que ha conseguido un antiviral original y está debidamente registrado, es posible que su protección sea más prolongada: la casa comercial dueña del antiviral le vende el servicio para mantener actualizado el programa con nuevas versiones y protecciones contra nuevos virus y variantes.

Un último tema a tratar es el origen de los virus y su capacidad de mutar. Para responder a la pregunta del origen de los virus biológicos, existen varias hipótesis, una plantea que estos se crearon de manera simultánea con las células; otra dice que fueron apéndices celulares que en un momento determinado salieron y se adaptaron al pasar algún rato fuera de esta, pero que la necesitan para multiplicarse; y otra afirma que durante el proceso de evolución y origen de la vida, moléculas con capacidad autocomplejiva como el RNA dieron origen a los virus y luego a las células. Si bien no vamos a dilucidar cuál es el verdadero inicio, lo que sí sabemos actualmente es que la alta capacidad de mutar generada por la ausencia de enzimas reparadoras del RNA, así como la posibilidad de recombinarse, lleva a cambios regulares y hasta a la aparición continua de nuevos genotipos y cuasiespecies virales.

Para los cibervirus, las prácticas de higiene también son importantes, estas incluyen no abrir documentos desconocidos y solicitar confirmación del emisor antes de su apertura; controlar los archivos que llegan por medio de la red, no conectar memorias y vacunar los computadores con programas diseñados para tal fin.

En el caso de los cibervirus, por el contrario, su origen está completamente definido: son diseñados por el hombre que escribe un código en donde se define a qué programa debe entrar y cómo se debe multiplicar, es decir, son fabricados con su propia infecciosidad, patogenicidad y virulencia. El diseño incluye instructivos para decidir cuándo atacar y cuándo destruir. Pero, ¿por qué alguien concibe esto tan "malvado"? Existen varias hipótesis: la primera es por puro vandalismo o fanatismo, pues hacer daño utilizando conocimientos propios en programación puede ser muy "divertido" para una persona con comportamientos vandálicos. Esta idea puede estar ligada al simple placer que tienen algunos individuos de destruir computadores, programas o paquetes informáticos. Para ellos crear un virus puede ser similar a crear una bomba explosiva y luego divertirse con su sonido, así como con el daño causado. Patologías síquicas de este tipo existen con alguna frecuencia en personas conocidas, y si a esto le sumamos la inteligencia y la formación suficiente para poder diseñar virus informáticos, tenemos el origen de estos "artefactos". Una segunda hipótesis se refiere a la necesidad de las empresas programadoras de ganar dinero vendiendo nuevos programas y sus correspondientes antivirus.

En cuanto a su capacidad de cambiar, los cibervirus también lo hacen. Yo no utilizaría la palabra "mutar", pues esta corresponde a cambios heredables que suceden sobre el DNA, lo cual garantiza tanto que se mantenga "alterado" mientras la célula está viva, como que se transfiera a las otras generaciones celulares. En el caso de los cibervirus, con mediana frecuencia aparecen programas similares con pequeñas variaciones no solo en su comportamiento, sino en la resistencia a los antivirus; es por esto que las casas comerciales diseñadoras de estos antivirus deben mantener una vigilancia continua, y emitir actualizaciones que respondan a los cambios en el comportamiento que se evidencian en los cibervirus.

Ya para terminar tenemos que incluir a las personas que trabajamos con los virus. Para los virus biológicos están, por un lado, los médicos infectólogos, quienes manejan al paciente y, por otro lado, están los científicos investigadores en virus, conocidos como virologos. Para la cibervirología están los hackers o expertos en programación, con intenciones proactivas hacia el desarrollo de la bioinformática, y los crackers o hackers que desarrollan piratería informática y delitos en Internet, buscando causar el mayor daño posible y robar información para beneficio propio.

Creo que después de realizar este análisis, la cuarta columna de mi cuaderno de biología del colegio quedó bastante llena, sin duda hay más semejanzas que diferencias, las personas que les dieron el nombre de virus informáticos o de virus de computador tenían razón. El impacto que tienen en la población puede ser muy fuerte en cuanto al significado económico, pero nunca tanto como el que tienen los virus sobre la salud humana, que si bien llegarán a ser menos populares, siguen mereciendo nuestra atención. Espero que en un par de años no me encuentre acá, con mi cuaderno de biología organizando una quinta columna con el nombre de "priones".

Mis agradecimientos a Adrián Guevara por la lectura y revisión del tema relacionado con virus informáticos.

## Referencias

Cohen, F. (1982), "Computer Viruses: Theory and Experiments", en *Computers & Security*, Vol. 6, No. 1, pp. 22-35.

\_\_\_\_\_. (2000), "Understanding Viruses Biologically", en *Network Security*, Vol. 8, pp. 11-16.

Piquete, J. R. y Vasconcelos, A. A. (2009), "Dynamic Models for Computer Viruses", en *Computers & Security*, No. 27, Vols. 7-8, pp. 355-359.

Real Academia Española (2001), *Diccionario de la lengua española*, vigésima segunda edición, Espasa Calpe, Madrid.

## LA INVESTIGACIÓN EN PRODUCTOS NATURALES VEGETALES



LUIS ENRIQUE CUCA SUÁREZ

Químico, doctor en Ciencias Químicas,  
Profesor Titular

CARLOS ANDRÉS COY BARRERA

Químico, candidato a doctor  
en Ciencias Químicas

ERICSSON DAVID COY BARRERA

Químico, candidato a doctor  
en Ciencias Químicas

Grupo de Investigación en Productos Naturales Vegetales - Departamento de Química - Facultad de Ciencias - Universidad Nacional de Colombia - Sede Bogotá

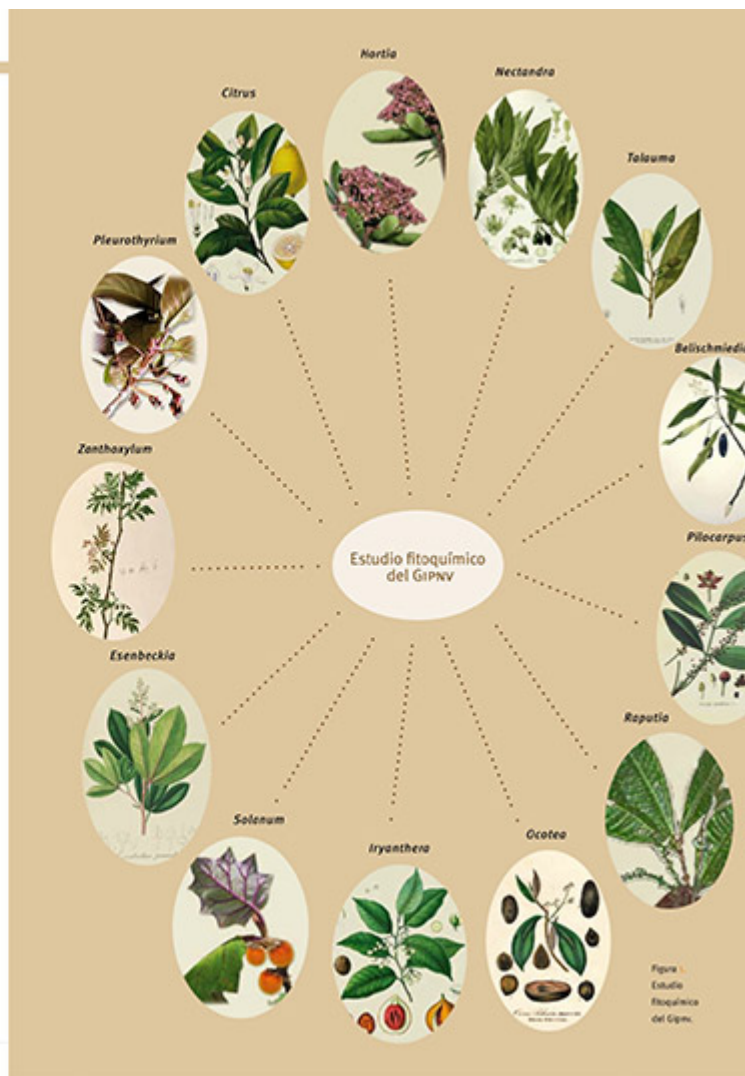
lecucas@unal.edu.co

## Introducción

En el ámbito científico, los productos naturales se entienden como aquellas sustancias o compuestos que se obtienen a partir de organismos vivos (entre los que se cuentan plantas, seres marinos, animales, hongos, líquenes, entre otros). Se originan principalmente en rutas asociadas al metabolismo secundario de cada organismo y, por tal razón, en ocasiones reciben el nombre de "metabolito secundario", aunque este término está reevaluado en ciertos casos por la estrecha cercanía que ahora se comprende entre los metabolismos primario y secundario. En los organismos vivos, el metabolismo secundario involucra una serie de subprocesos cuyo propósito se basa en la transformación e interconversión enzimática de una amplia variedad de sustancias, las cuales fueron y/o serán utilizadas en una función determinada, necesaria para vivir, crecer y reproducirse, en estrecha dependencia con la biología, la fisiología y la ecología del organismo (Dewick, 2002). En el caso de los organismos vegetales, esta variedad de compuestos, desde tiempos remotos y de acuerdo con las propiedades manifestadas por las plantas, ha sido muy utilizada por el ser humano para su propio bien (a partir de la información que le ha dado la experiencia principalmente).

Las plantas se constituyen así como base esencial para un amplio rango de usos, actividades y beneficios, que van desde la extracción de aceites esenciales, usados en perfumería y especias, hasta la obtención de biopolímeros como el látex, pasando por el uso como agentes para el control de plagas, y mecanismo terapéutico y/o curativo para tratar dolencias y enfermedades —fundamentado en la denominada medicina tradicional—, este último uno de los fines más perseguidos desde la Antigüedad. Todo lo anterior, traducido en objetivos comerciales, es fruto del metabolismo secundario propio de los organismos vegetales. Los productos naturales vegetales se han convertido en un eje importante para la búsqueda, el descubrimiento y la obtención de muchas sustancias adaptadas a una diversidad de utilidades para el ser humano. Por lo tanto, el conocimiento químico de las plantas permite abrir el camino para posteriores estudios biológicos y farmacológicos, ya que si varios metabolitos secundarios tenían una aplicación farmacológica algo limitada, el desarrollo de las últimas técnicas de solubilización y microencapsulación de compuestos posiciona a los productos naturales como sustancias con un gran potencial. En Colombia esta investigación ha estado ampliándose continuamente en los últimos años, y ha abarcado un número significativo de académicos de muchas universidades del país, lo cual se ha reflejado en los últimos congresos colombianos de fitoquímica (IX y X) y en las publicaciones relacionadas con la investigación en productos naturales. No obstante, una limitante se ha visto bien marcada en lo relacionado con la integración de la industria colombiana en el tema. Pese a que muchas multinacionales involucradas con la industria farmacéutica y agroquímica invierten bastantes recursos económicos en el desarrollo de nuevas entidades químicas, provenientes y/o basadas en productos naturales, en nuestro país este propósito todavía tiene mucho camino por delante, aunque en la actualidad existen varios grupos y centros de investigación interesados en generar cadenas productivas con base en la temática de los productos naturales.

El Grupo de Investigación en Productos Naturales Vegetales (GIPNV) de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, es interdisciplinario y ha tenido una larga trayectoria en el tema desde su creación, en 1984. En aquella época estaba en desarrollo la línea de estudio de plantas pertenecientes a la familia Lauraceae y, posteriormente, se amplió la investigación hacia especies de otras familias como Myristicaceae, Rutaceae, Annonaceae, Moraceae, Solanaceae, Piperaceae y Magnoliaceae, lo que permitió consolidar el proyecto de investigación denominado ante Colciencias "Estudio químico y de actividad biológica de Rutaceae y Myristicaceae colombianas", clasificado en la categoría A. Paralelamente fue desarrollada la línea de aceites esenciales, en especial de plantas aromáticas de uso culinario en Colombia.

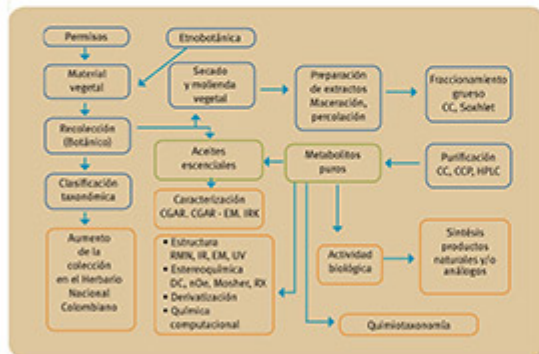


Como parte del proceso investigativo en el área de los productos naturales vegetales, el Gipnv tiene dentro de sus principales propósitos recoger muestras para ampliar las colecciones de especímenes botánicos en el Herbario Nacional Colombiano; realizar el estudio químico de especies nacionales de las familias anteriormente mencionadas y su etnobotánica colombiana correspondiente; confirmar la taxonomía de las especies mediante la quimiotaxonomía, y buscar sustancias bioactivas como agentes potenciales, ya sea de uso terapéutico y/o biológico. Además, en los últimos años, teniendo en cuenta la baja cantidad de compuesto bioactivo que se puede obtener de una planta en general —una clara limitante en la continuidad de los estudios en los ámbitos biológico y farmacológico—, el Gipnv ha empezado a desarrollar la línea de síntesis de metabolitos secundarios y/o análogos. Como tal, la finalidad principal de los trabajos del grupo de investigación es plantear alternativas que permitan la solución de problemas nacionales sanitarios y agrícolas a partir de una investigación básica, explorando la biodiversidad vegetal colombiana desde los puntos de vista químico y biológico.

Su trabajo investigativo ha permitido la formación de talento humano tanto en pregrado como en postgrado, incluyendo profesionales egresados de universidades de provincia. También se han realizado proyectos de investigación interdisciplinarios mediante la asociación con grupos de los Departamentos de Biología y Farmacia, y la Facultad de Agronomía, y se ha dado soporte científico a las demás sedes de la Universidad Nacional y a otras instituciones académicas del país. Los resultados de los trabajos del Gipnv han sido presentados en eventos colombianos y de otras partes del mundo, y en publicaciones de revistas científicas indexadas de orden nacional e internacional. En el sitio web del Gipnv se puede ampliar esta información ([www.prod.naturales.unal.edu.co](http://www.prod.naturales.unal.edu.co)).

Figura 2.

Protocolo general de trabajo en productos naturales vegetales.



## Proceso metodológico en la investigación en productos naturales vegetales

La figura 2 muestra de forma global la serie de procesos llevados a cabo en el Gipnv para una investigación convencional en productos naturales vegetales, cuyo inicio es usualmente la recolección del material vegetal, y el objetivo es la obtención del metabolito aislado, puro, para luego ser estudiado en los planos estructural, químico, biológico y/o sintético, donde el enfoque depende del uso etnobotánico y la química de la planta a estudiar.

50

## Colección e identificación del material vegetal

La investigación en productos naturales vegetales se inicia con la recolección del material. Para tener acceso a cualquier especie biológica —según la legislación colombiana regulada por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), y enmarcada dentro del Decreto 309 del 25 de febrero de 2000 (Vicerrectoría de Investigación, 2010) que reglamenta la investigación científica sobre diversidad biológica— es necesario tramitar los permisos correspondientes en procesos de colecta, transporte y manipulación de las muestras objeto de estudio. La Universidad Nacional de Colombia, en cabeza de la Vicerrectoría de Investigación (VI), tiene a disposición una oficina que orienta adecuadamente en estos trámites, en función del correcto desarrollo de los mismos, con el fin de no incurrir en acciones ilegales, muchas veces originadas por desconocimiento de la reglamentación.

El interés en una especie se origina por varias razones, entre las que se cuentan las de tipo etnobotánico —como el caso de las especies del género *Virola*, *Myristicaceae*, de cuya corteza se obtiene el Yagé (Álvarez et al., 1983)—; genético —como el género *Murraya*, *Rutaceae*, por su uso frecuente en ornamentación—; fitoquímico —que en general aplica para todas, en especial para las plantas de las familias *Rutaceae*, *Lauraceae* y *Myristicaceae*, por su contenido apreciable de metabolitos tipo alcaloides, Egnanos, cumarinas, flavonoides, entre otros—; taxonómico —como el caso de la familia *Solanaceae* y el interés que existe en definir su sección geminata, endémica de nuestro país—, y de bioprospección —un ejemplo es el trabajo que se desarrolla en la actualidad con especies de *Piperaceae*, en el alto y medio Sumapaz en el departamento de Cundinamarca, del cual ya se tiene un jardín de especímenes de esta familia—.

A conocer y tener definido el interés en la especie, el paso siguiente es identificar su ubicación, que en muchos casos ya se ha precisado. En caso contrario, se puede hallar con la asistencia de un herbario. Así, los materiales vegetales son colectados en diferentes regiones del país, con la compañía y asesoría de botánicos expertos que se encargan de su debido reconocimiento y clasificación, para depositar ejemplares de los especímenes en los diferentes herbarios del país, con el fin de aumentar sus colecciones. El Herbario Nacional Colombiano del Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, es la entidad que más ha prestado soporte al Gipnv para tales fines. El reconocimiento y la clasificación de la especie (hechos por el botánico experto) se rigen bajo parámetros consistentes con lo que se sabe de la filogenia de los taxones —es decir, aquellos parámetros morfológicos y/o genéticos que definen las relaciones de parentesco entre los organismos y su historia evolutiva, de donde se extraen los caracteres diagnósticos de cada uno de sus miembros, y sobre los que se crean claves dicotómicas de identificación (principalmente basadas en morfología), utilizadas en la tarea de la determinación o identificación de organismos que ubica desconocidos en un taxón del sistema de clasificación, previamente establecido por la biología sistemática y la taxonomía—. Es un requisito primordial depositar un ejemplar del espécimen en el herbario, con el fin de mantener una prueba biológica de la colección del material en un lugar donde será preservado adecuadamente.



Figura 3.

(a) Equipo para una hidrodestilación. (b) Equipo para un Anastre con Vapor.

51

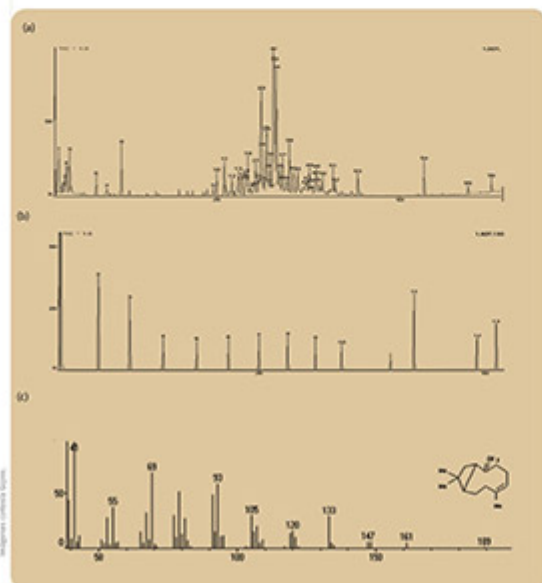
## Preparación de los extractos etanólicos a partir de la especie vegetal

Una vez obtenida e identificada la muestra, es común realizar una extracción de los componentes volátiles del material fresco, principalmente de hojas, corteza y/o frutos. Los métodos más utilizados para este propósito son Anastre con Vapor (AV) e Hidrodestilación (HD) (véase figura 3), en los que se obtiene una fracción volátil que se conoce con el nombre de aceite esencial. Para determinar la composición química de este, se realiza un análisis por cromatografía de gases (CGAR), y de nuevo por la misma pero acoplada a espectrometría de masas (CGAR-EM).

Ambos procesos colaboran entre sí para establecer el tipo y número (definido por la cantidad de lo que se denomina "picos cromatográficos") de componentes presentes en el aceite y su contenido relativo. Un ejemplo se muestra en la figura 4a, para el aceite esencial obtenido de los frutos de la *Myrtaceae* (Cuca et al., 2009); aquí se aprecia la composición compleja del aceite con un número de componentes superior a cincuenta compuestos. Usualmente, se recomienda que este análisis se acompañe con el cálculo de los índices de retención de Kovats (IRK) (Taján et al., 1990), que corresponden a unos valores previamente reportados, relativos a una mezcla seriada de hidrocarburos (principalmente de  $C_n$  a  $C_{10}$ ). Estos últimos se obtienen bajo un cálculo matemático mediante los tiempos de retención ( $t_r$ ) en el cromatograma obtenido de la mezcla de hidrocarburos, bajo las mismas condiciones en cromatografía de gases en las que el aceite fue analizado (véase figura 4b). Así, con el espectro de masas (figura 4a) y los IRK, la identificación de los componentes del aceite se hace más confiable (Adams, 2007).

Figura 4.

(a) Cromatograma obtenido bajo análisis por CGAR del aceite esencial de *Myrtaceae*; (b) cromatograma obtenido mediante análisis por CGAR de la mezcla de hidrocarburos para determinar los IRK; (c) espectro de masas del  $\beta$ -cariofeno, un sesquiterpeno presente en el aceite de *Myrtaceae*.



62

El paso a seguir corresponde a un proceso de secado, ya sea al aire o en horno, para luego someter el material seco a molienda. Los componentes fijos se obtienen a partir de la muestra vegetal seca, molida y pesada, a partir de la extracción con solventes, y principalmente por medio de dos métodos. El primero corresponde a la maceración (figura 5a), que consiste en poner el material vegetal en contacto permanente con un solvente, por lo general etanol al 56%, durante varios días a temperatura ambiente. El segundo se conoce como percolación (figura 5b), donde se trata de pasar continuamente el solvente por el material vegetal extrayendo las sustancias solubles del mismo. En ambos casos el solvente extractor es retirado mediante destilación a presión reducida en un rotaevaporador (figura 5c), lo que conlleva a la obtención del extracto etanólico crudo (figura 5d).



Figura 5.

(a) Montaje para una maceración; (b) extracción convencional por maceración; (c) remoción del solvente en un rotaevaporador; (d) extractos secos obtenidos después de la remoción del solvente.

Foto: P. J. Martínez

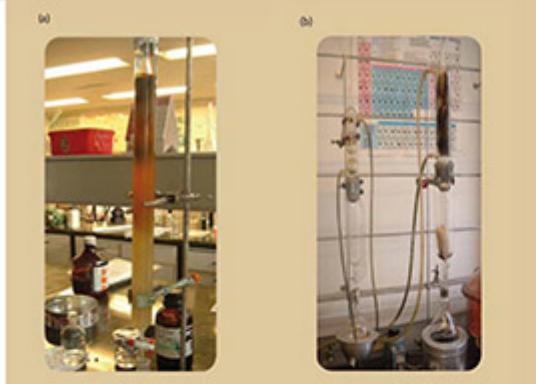
## Análisis fitoquímico preliminar de los extractos crudos

Con el objetivo de establecer la posible presencia de algunos tipos de metabolitos en los extractos etanólicos obtenidos, se lleva a cabo un análisis que consta de una serie de pruebas de coloración y precipitación como proceso cualitativo. Aunque a veces es muy útil, en especial para el caso de alcaloides y compuestos fenólicos, en otras ocasiones suele ocurrir que las pruebas no son un claro indicio debido a la presencia de interferencias, lo cual se hace normal para matrices tan complejas como los extractos crudos, casos en los que se carece de cualquier confiabilidad.

63

Figura 6.

- (a) Fraccionamiento grueso por CC.  
(b) Fraccionamiento por Soxhlet.



#### Fraccionamiento de los extractos etanólicos de la especie vegetal

El fraccionamiento de un extracto se entiende como el proceso físico que permite la separación de los componentes presentes en él, por grupos de compuestos que comparten o se asemejan en alguna propiedad física y/o química (Houghton y Raman, 1998). Una de las propiedades que más se aprovecha es la polaridad, que se relaciona mucho con las interacciones físico-químicas que pueden tener los compuestos con un solvente y/o soporte, base de las técnicas cromatográficas convencionales. Así, una herramienta muy útil en la purificación de metabolitos secundarios es la Cromatografía en Capa Delgada (CCD), cuyo uso e información suministrada es clave en los procesos subsecuentes.

Como parámetro previo al fraccionamiento del extracto crudo, se realiza un estudio cromatográfico por CCD a cada uno de los extractos etanólicos, utilizando diferentes mezclas de solventes conocidas como "sistemas de elución" o "fases móviles", y diferentes soportes denominados "fases estacionarias" para obtener un perfil óptimo de separación y realizar un adecuado fraccionamiento por Cromatografía en Columna (CC) (véase figura 6a). En el caso de que el estudio por CCD no permita la obtención de un buen perfil de separación, se recomienda proceder a fraccionar el extracto mediante un proceso de extracción sólido-líquido en un equipo Soxhlet (figura 6b), utilizando solventes de polaridad creciente —por lo general éter de petróleo (ÉtP), cloroformo (CHCl<sub>3</sub>), acetato de etilo (AcOEt) o metanol (MeOH)—. Esto permite agrupar, en las respectivas fracciones, diferentes mezclas de metabolitos, teniendo en cuenta su polaridad.

#### Purificación de los metabolitos obtenidos de la especie vegetal

Las fracciones que resultan pueden ser interesantes con respecto a la cantidad en masa y perfil cromatográfico por CCD, y son sometidas a purificación por cromatografía en columna repetitiva con diferentes mezclas de elución (véase figura 7). También se utilizan técnicas de purificación por Cromatografía en Capa Delgada Preparativa (CCDP) y, eventualmente, Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia (CLAE), para observar el perfil cromatográfico y aislar metabolitos de las mezclas más complejas. En la actualidad existen otras metodologías de purificación, pero usualmente son costosas y poco robustas. Todo el proceso de limpieza es monitoreado por CCD mediante revelado con reactivos específicos (formaldehído/ácido sulfúrico, vainilina/ácido fosfórico, Pinalcidi, Eragendorf, Liebermann-Burchard, entre otros) (Houghton y Raman, 1998), lámpara ultravioleta (UV) y/o vapores de yodo (véase figura 8).

#### Elucidación estructural de los metabolitos aislados de la especie vegetal

La información estructural de un componente aislado es la base de la identificación del mismo, lo cual es absolutamente necesario para fines utilitarios. Varias transformaciones químicas eran usadas antes para obtener aquella información, pero con el surgimiento y bien acertado desarrollo de las técnicas espectroscópicas, las transformaciones han quedado en un segundo plano, y utilizadas solamente cuando los datos espectroscópicos no son suficientes para elucidar en detalle la estructura química del metabolito purificado. Las técnicas espectroscópicas basan su utilidad en la interacción entre el compuesto y una radiación electrónica y/o magnética determinada, cuyos resultados son captados por un detector, y transformados en señales legibles registradas en un gráfico (usualmente respuesta contra intensidad) que se denomina espectro (cuya variación obedece a la radiación utilizada). Como la relación entre la radiación y las sustancias orgánicas depende de la estructura del compuesto, haciéndose casi específica, la interpretación de las señales legibles permite en muchos casos ver con claridad la naturaleza estructural del metabolito. Es así como a los componentes puros aislados se les registran los espectros de Infrarrojo (IR), Ultravioleta (UV), de Masas (EM) con Ionización Electrónica (EI) o Ionización Química (IQ) y de Resonancia Magnética Nuclear (RMN) en una (1D) y dos dimensiones (2D), con la intención de identificar y esclarecer la estructura del metabolito purificado mediante análisis exhaustivo de los datos espectroscópicos obtenidos, y por comparación de la información reportada previamente para sustancias estructuralmente similares (Bergery y Sicker, 2009). Además, como las sustancias orgánicas poseen diferentes ángulos espaciales precisados en la estereoquímica del compuesto, esta puede definirse por experimentos en RMN bajo el efecto nuclear "Overhauser" (<sup>1</sup>H) y reactivos de desplazamiento usando lantánidos; métodos ópticos como difracción circular (DC); derivatización con MPTA (método Mosher), y/o por difracción de rayos X en monocristal.

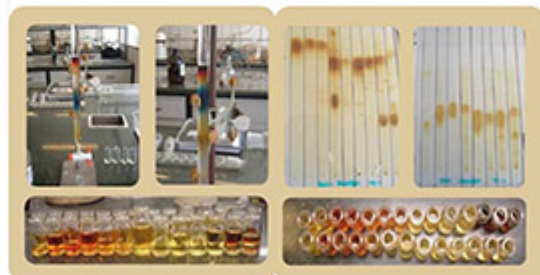


Figura 7.

Proceso de purificación por CC.

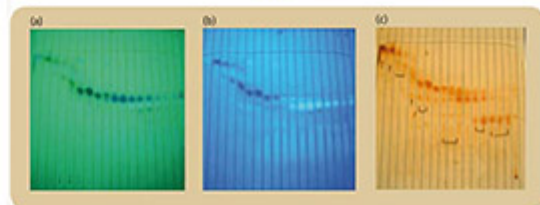


Figura 8.

Revelado de placas de CCD: (a) UV a 254 nm; (b) UV a 365 nm; (c) con vapores de yodo.

No obstante, en algunos casos, cuando la información espectroscópica no es suficiente para definir la estructura sin ambigüedades, se hace necesario llevar a cabo lo que se denomina derivatización. Esto corresponde a las transformaciones químicas como acetilaciones, metilaciones, oxidaciones de dobles enlaces, reducciones de grupos carbonilos, formación de acetales, y su fin es aclarar y/o soportar la identificación (Kishnaswamy, 2003). La derivatización a realizar se elige de acuerdo con las características estructurales del compuesto. Adicionalmente, se recurre a los nuevos métodos de la llamada química computacional —ab initio (DFT, Hartree Fock, Monte-Carlo), semiempíricos, entre otros (Barone et al., 2002; Bringmann et al., 2008)— para validar estructura y/o precisar dualidades estructurales, que en muchas ocasiones se presentan mediante cálculos de perfil energético, optimización, geometría y distribución conformacional, así como cálculos para RMN y DC, entre otros, cuya elección es dependiente de la estructura y estereoquímica de la molécula a estudiar.

Entre los resultados más representativos y actuales obtenidos en el Giprv (véase figura 9), se encuentran los limonoides nuevos denominados hortólido A 1 y B 2 (Cuca et al., 2002) y raputólido A 3 (Coy et al., 2010), obtenidos de la madera y corteza de Horto colombiano (*Rutaceae*) y *Raputia heptaphylla* (*Rutaceae*), respectivamente, cuyo núcleo base se halla usualmente en especies de las familias *Rutaceae* y *Meliaceae*. De la especie *Tolouma orobucoana* (*Magnoliaceae*), en un árbol endémico de nuestro país, de la región de Arcabuco (departamento de Boyacá), se encontró el alcaloide aporfínico (-)-arabucolina 4 (Comedor y Cuca, 2010) tenía una característica estructural interesante reflejada en el formilo como sustitución en el nitrógeno. De especies de la familia *Myricaceae*, se resaltan los compuestos obtenidos de las hojas de la *Iryanthera alii*, de la cual se aisló el non-neolignano *Iryantheral* 5 y el flavonolignano *Iryantherina* L 6 (Bernal y Cuca, 2009), este último encontrado exclusivamente en el género *Iryanthera*; así como la alquilciclohexanona 7 (Castro et al., 2004), obtenida de la corteza de la *Vinola imosa*. En el caso de especies de la familia *Lauraceae*, existen compuestos novedosos de tipo neolignano biciclo[3.2.1]octánico como las nectamazinas A-C B-10 (Coy et al., 2009a), aislados de las hojas de la *Nectandra amazonum* y cuya presencia en estas especies se considera como marcación quimiotaxonomía. La familia *Solanaceae* es conocida por la frecuente presencia de alcaloides estereoidales y cumarinas, cuyos estudios generaron el aislamiento del alcaloide 2-(metil-tetrahidrofuran)-solanidina 11 (Cuca et al., 2004), y el glicósido de la cumarina esculetina 12 (Cuca et al., 2006) de las hojas de *Solanum cornifolium* y *Solanum validinervium*, respectivamente.

#### Estudios y aplicaciones posteriores realizados a los metabolitos aislados de la especie vegetal

La determinación de la actividad biológica de los metabolitos aislados es una de las finalidades importantes en el estudio de los productos naturales; puede estar enfocada habitualmente hacia el campo farmacológico (sustancias con uso terapéutico potencial en el tratamiento de enfermedades y dolencias) o agroquímico (sustancias con uso potencial para el control de plagas y enfermedades en

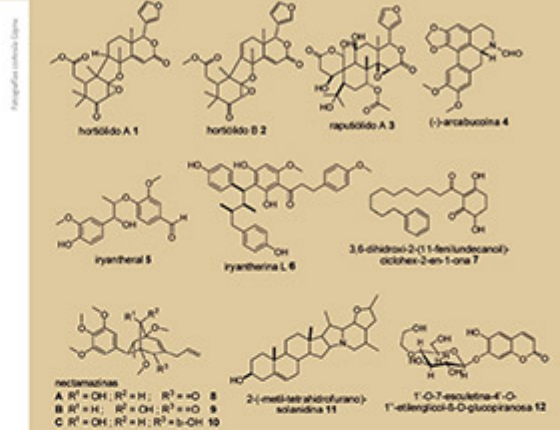


Figura 9. Metabolitos secundarios obtenidos en estudios fitoquímicos en el GIPrv.

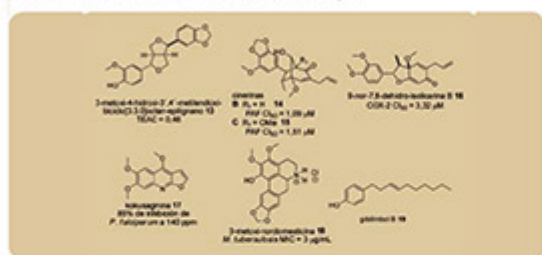
cultivo y cosecha). En muchas ocasiones, la determinación de la actividad se realiza con el ánimo de validar un uso tradicional de una planta con el aislamiento de los principios activos que lo provocan. En otros casos, la actividad es evaluada directamente con respecto al extracto etanólico crudo o algunas fracciones moderadamente depuradas, lo cual es usualmente admitido siempre y cuando la composición del extracto y/o fracción esté validada por las técnicas analíticas apropiadas, como son los casos de múltiples plantas de la medicina tradicional china —como el *Ginkgo biloba* (Koch, 2004) o el *Ginseng* (Li et al., 2010), cuyos extractos y/o fracciones son ampliamente comercializados en todo el mundo—. Sin embargo, esta práctica se encuentra cada vez más restringida debido a las falsificaciones y a la consecuencia natural, correspondiente a la variación en la composición de un extracto debido a las condiciones ecológicas en las que se encuentre la planta en el momento de la recolección. Por lo tanto, es preferible el hecho de trabajar con el compuesto puro, obtenido mediante el arduo proceso de aislamiento y purificación del mismo. Todas estas evaluaciones tienen como objetivo primordial la búsqueda de dos parámetros en las sustancias bioactivas: efectividad y seguridad.

Esta área del GIPrv se enfoca especialmente en la búsqueda permanente de sustancias bioactivas que exhiban efectos en problemas fisiológicos como antioxidantes, citotóxicos, antiinflamatorios y antitrombóticos, así como en la exploración de compuestos que posean un uso potencial en el tratamiento de las llamadas "enfermedades olvidadas" (como la malaria, la tuberculosis y la leishmaniasis), y en el control de patógenos humanos y vegetales con sustancias en actividades antibacterianas, antifúngicas e insecticidas.

En los ensayos de actividad (véase figura 10) se encontró que el lignano lurofuránico 13 (obtenido de *Alloporus alvaredoi*, *Rutaceae*) presentaba una Capacidad Antioxidante Equivalente a Trolox (TEAC) de 0,46, superior al control del ácido ascórbico de 1,01. (Cuca y Ávila, 2007). En otro estudio enfocado hacia la búsqueda de compuestos antitrombóticos, donde se evaluaron catorce neolignanos biciclo[3.2.1]octánicos (véase figura 11), se vio como resultado que los neolignanos ciferina B 14 y C 15 (aislados de las hojas de *Pleurothyrium cinereum*) son excelentes candidatos por su significativa inhibición a la agregación plaquetaria inducida por el factor de activación de plaquetas (PAF), con valores de concentración inhibitoria media (CI<sub>50</sub>) de 1,09 y 1,51 μM, muy cercanos a los del control positivo ginkgólido B (CI<sub>50</sub> = 0,925 μM) (Coy et al., 2009b). Dos compuestos con buenas propiedades antiinflamatorias

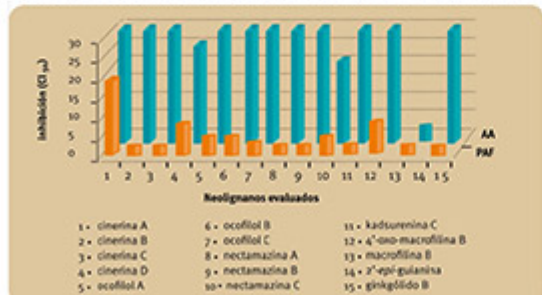
fueron también obtenidos de *Pseudeucoila cinerea* y *Nectandra amazonum* (Lauraceae), los cuales corresponden a la 9-*n*- $\beta$ -D-dehidro-isolaricina B **16** y a la nectamazina C **10**, respectivamente. El primero de ellos, con actividad selectiva hacia la inhibición de la ciclooxigenasa-2 (COX-2)  $IC_{50}$  = 0.32  $\mu$ M, y aunque menor al control positivo celecoxib (COX-2  $IC_{50}$  = 0.113  $\mu$ M), un reconocido inhibidor selectivo de la COX-2, presentó un mayor índice de selectividad (COX-1/COX-2 = 106) y se convirtió en excelente candidato para usarse potencialmente como antiinflamatorio. Y el segundo presentó acción dual hacia la 5-lipooxigenasa (5-LOX) y la COX-2 (5-LOX  $IC_{50}$  = 12.8; COX-2  $IC_{50}$  = 6.83), condición actual para el desarrollo racional de antiinflamatorios (Eoy et. al., 2009b).

Figura 10.  
Compuestos bioactivos encontrados en el CGV.



En el caso de las enfermedades ovidadas, el limoneno rapulólido A **3**, presentó una excelente actividad contra la inhibición de la infección en macrófagos murinos de *Leishmania (Viannia) panamensis*, parásito responsable del 90% de los casos de la leishmaniasis en Colombia, con una concentración efectiva media ( $EC_{50}$ ) de 0.212  $\mu$ g/ml, en amastigotes intracelulares, cercano pero no mejor al control positivo estibogluconato de sodio (Granados et. al., 2009). El alcaloide furoquinolínico kokusaginata **17** (aislado de *Peitostigma guatemalense*, Rutaceae) presentó un porcentaje de inhibición de la invasión a glóbulos rojos de *Plasmodium falciparum* (parásito responsable de la malaria en Colombia) del 87%, a una concentración de 140 ppm (Cuca et. al., 2009). En el caso de la tuberculosis, el alcaloide aporfínico clorhidrato de 3-metoxinondomesticina **18** (aislado del tallo de la *Ocotea macrophylla*, Lauraceae) mostró un efecto significativo sobre *Mycobacterium tuberculosis*, con una concentración mínima inhibitoria (MIC) cercana a 3  $\mu$ g/ml (Pabón, 2009). Y de la especie *Piper eripodum* (Piperaceae) se encontró el glibimol B **19**, un alquilfenol con potente actividad insecticida contra la *Spodoptera frugiperda* (gusano cogollero), un insecto-plaga que ataca los cultivos de maíz y arroz (Muñoz, 2008).

Figura 11.  
Inhibición de la agregación plaquetaria inducida por agonistas (PAF y AA), por neolignanos biactivos (1 a 15) octílicos.



58

## Síntesis de metabolitos y/o análogos

Como se mencionó, una limitante en el trabajo en productos naturales está relacionada con la cantidad de sustancia, ya que a partir de kilogramos de material vegetal son usualmente obtenidos algunos miligramos del metabolito secundario. Esto tiene efectos adversos en la ecología, pues si es requerido más compuesto, se hace necesaria una cantidad mayor de muestra vegetal, lo cual no es del todo solucionable si se trata de especies silvestres. Un recurso apropiado es la adecuación del cultivo de la planta, pero en varias ocasiones se ha encontrado que la producción del metabolito se pierde cuando se cultiva, pues su biosíntesis depende de la ecología silvestre de la especie. Otro procedimiento tiene que ver con la generación de cultivos celulares de la planta y mediante ingeniería genética, es decir, promover la formación selectiva del metabolito deseado. Esta es una opción limpia, ecológica y muy apropiada, pero su desarrollo aún se encuentra en proceso.

Aquella limitante es usualmente superada mediante síntesis química de los productos naturales. En el mundo, numerosos grupos de investigación en universidades, institutos e industrias, se dedican a buscar nuevas formas, rutas, procedimientos y estrategias con el fin de sintetizar productos naturales, a costos más bajos, en procesos más cortos en tiempo y pasos, de fácil manejo y ecológicamente amigables. Es así como la síntesis orgánica ha avanzado de manera asombrosa en los últimos años, a tal punto que la obtención de cualquier subestructura ahora se hace posible, como consecuencia del incesante interés en la obtención a escala de laboratorio de la riqueza química y estructural que la naturaleza nos ofrece.

Partiendo de este hecho, se ha llevado a cabo la síntesis de la machilina C (véase figura 12), obtenida de las hojas de *Lythronia ulmi*, por medio de una epoxidación asimétrica de Jacobsen, mediada por un catalizador de Manganeso-Salem (Blema y Cuca, 2009). De igual manera, la síntesis de análogos quinolínicos (véase figura 13) mediante una nueva ciclación radicalaria a partir de enaminas adecuadamente sustituidas (Aurecochea et. al., 2008), y la síntesis de lignanos dibenzociclooctanos de tipo deoxisquilandrina a partir de diarilbutanos (véase figura 14) —gracias a un acoplamiento biarílico intramolecular por activación directa de enlaces C-H, catalizado por complejos de paladio-carbenos *N*-heterocíclicos (Coy et. al., 2009)—. Todos estos procesos llevados a cabo por medio de metodologías actuales, permitieron la obtención de los compuestos objetivo con rendimientos globales razonables.

Figura 12.  
Síntesis de la machilina C.

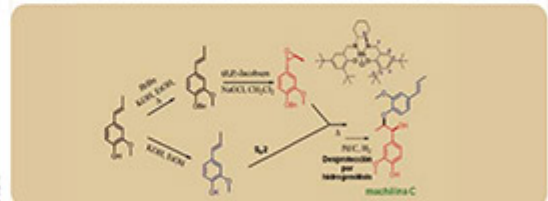
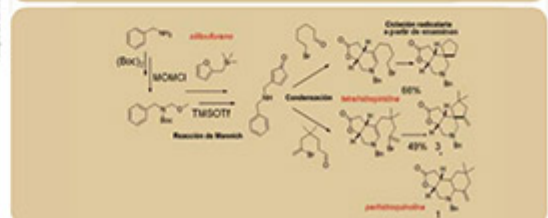


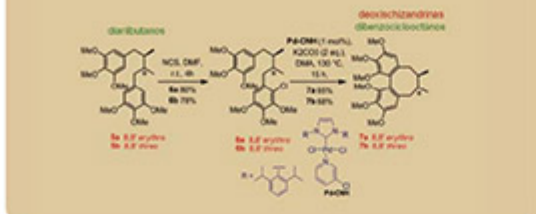
Figura 13.  
Síntesis de análogos quinolínicos.



59

Figura 14.

Síntesis de neolignanos dibenzociclooctanos.



En conclusión, a la investigación en productos naturales en Colombia todavía le falta recorrer un camino bastante extenso. Con el transcurrir del tiempo más grupos de investigación se interesarán por el tema, pues nuestra biodiversidad nos ofrece una riqueza biológica, química y farmacológica apreciable que debe ser explorada aquí, en nuestro país, para que todo ese conocimiento sea explotado en Colombia, y no resulte al final en manos extranjeras.

## Referencias

- Adams, R. P. (2007). *Identification of Essential Oil Components by Gas Chromatography/Mass Spectrometry*, Cuarta edición, Allured Publishing Corporation, Illinois-USA, capítulos 1-6.
- Alvarez, E., Cuca, L. E. y Martínez, J. C. (1985). "Neolignanos en hojas de *Virola calophylla* (Warb.)", en *Revista Colombiana de Química*, No. 14, pp. 31-43.
- Aumecochea, J. M., Coy, C. A. y Patiño, O. J. (2008). "Divergent Pd-catalyzed and Radical Cyclizations of Nucleophilic Cyclic Enamines Derived from Functionalized Amine and Aldehyde Fragments", en *The Journal of Organic Chemistry*, No. 73, pp. 5194-5197.
- Barone, G., Gomez-Paloma, L., Duca, D., Silvestri, A., Riccio, R. y Bifulco, G. (2002). "Structure Validation of Natural Products by Quantum-mechanical GIAO Calculations of  $^{13}\text{C}$  NMR Chemical Shifts", en *Chemistry*, No. 15, pp. 3233-3239.
- Berger, S. y Sicker, D. (2009). *Classics in Spectroscopy: Isolation and Structure Elucidation of Natural Products*, John Wiley and Sons Inc., Baffins Lane-England, capítulos 1-6.
- Bernal, F. A. (2009). *Aislamiento de metabolitos secundarios de hojas de *Iryanthera ulai* var. (myrsinaceae), evaluación de su actividad antimicrobiana y síntesis de un neolignano 8 O 4*. Tesis de Maestría, Departamento de Química, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.
- Bernal, F. A. y Cuca, L. E. (2009). "Chemical Constituents from *Iryanthera ulai* Warb", en *Biochemical Systematics and Ecology*, No. 33, pp. 772-775.
- Birgmann, G., Gulder, T. A., Reicher, M. y Gulder, T. (2008). "The Online Assignment of the Absolute Configuration of Natural Products: HPLC-CD in Combination with Quantum Chemical CD Calculations", en *Chiroality*, No. 15, pp. 628-642.
- Castro, E., Cuca, L. E., Siengalewicz, P., Gutman, R. y Czermak, G. (2004). "3,6-Dihydroxy-2-(1-phenylundecanoyl)-cyclohex-2-en-1-one from *Virola venosa* Bark", en *Acta Crystallographica*, C60, pp. 467-469.
- Coy, E. D. y Cuca, L. E. (2009a). "Three New 7,3':8,5'-connected bicyclo[3.2.1]octanoids and Other Neolignans from Leaves of *Nectandra amazonum* Nees. (Lauraceae)", en *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*, No. 57, pp. 639-642.
- Coy, E. D., Cuca, L. E. y Sefkow, M. (2009b). "COX, LOX and Platelet Aggregation Inhibitory Properties of Lauraceae neolignans", en *Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters*, No. 19, pp. 6922-6925.

Coy, E. D., Cuca, L. E. y Sefkow, M. (2009c). "Síntesis de dibenzociclooctanos antagonistas a COX por un nuevo acoplamiento biarílico a partir de lignanos naturales", en *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, No. 7, pp. 43-47.

Cuca, L. E., Menichini, F. y Delle-Monache, F. (2002). "Tetranoortriterpenoids and Dihydroclenamic Acid Derivatives from *Nordia colombiana*", en *Journal of the Brazilian Chemical Society*, No. 13, pp. 339-344.

Cuca, L. E., Coy, C. A. y Orozco, C. I. (2004). "Aislamiento y elucidación estructural de algunos metabolitos mayoritarios del extracto etéreo de *Solanum cornifolium*", en *Revista Colombiana de Química*, No. 33, pp. 7-12.

Cuca, L. E., Muñoz, D. R. y Orozco, C. I. (2006). "Compuestos fenólicos aislados de la especie *Solanum volidinerivum* (Solanaceae) sección *Geminata*", en *Revista Colombiana de Química*, No. 35, pp. 59-65.

Cuca, L. E. y Ávila, M. C. (2007). "Nueva benzoflactona y otros constituyentes de *Pilocarpus alvaredoi* (Rutaceae)", en *Revista Colombiana de Química*, No. 36, pp. 285-290.

Cuca, L. E., Coy, E. D., Coy, C. A. y Bernal, F. A. (2009a). "Essential Oil Composition and Its Antimicrobial Activity of Fruits of *Iryanthera ulai* W. from Colombia", en *Journal of the Brazilian Chemical Society*, No. 34, pp. 289-291.

Cuca, L. E., Delle-Monache, F., Lozano, J. M. y Patarroyo, M. E. (2009b). "Antimicrobial Activity Metabolites from *Peltostigma guatemalensis*", en *Natural Product Research*, No. 23, pp. 320-324.

Dewick, P. M. (2002). *Medicinal Natural Products. A Biosynthetic approach*, John Wiley and Sons Inc., Baffins Lane-England, pp. 7-8, y pp. 132-135.

Granados, D., Coy, C. A., Cuca, L. E. y Delgado, L. G. (2009). "Actividad leishmanicida e inmunomoduladora de compuestos alcaloides y limonoides aislados de *Rapulia heptaphylla* (Familia Rutaceae)", en *Biomédica*, No. 29, pp. 241-242.

Houghton, P. J. y Raman, A. (1998). *Laboratory Handbook for the Fractionation of Natural Extracts*, International Thomson Publishing, London, UK, capítulos 1-8.

Koch, E. (2003). "Inhibition of Platelet Activating Factor (PAF)-induced Aggregation of Human Thrombocytes by Ginkgolides: Considerations on Possible Bleeding Complications after Oral Intake of Ginkgo biloba extracts", en *Phytotherapy Research*, No. 17, pp. 10-16.

Krishnaswamy, N. R. (2003). *Chemistry of Natural Products: A Laboratory Handbook*, Universities Press (India) Private Limited, Hyderabad-India, capítulos 5-6.

Li, L., Luo, G. A., Liang, Q. L., Hu, P. y Wang, Y. M. (2010). "Rapid Qualitative and Quantitative Analyses of Asian Ginseng in Adulterated American Ginseng Preparations by UPLC/Q-TOF-MS", en *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, No. 52, pp. 66-72.

Muñoz, D. R. (2008). *Estudio fitoquímico y evolución de la actividad fungicida e insecticida de la especie *Piper eripodon* (Piperaceae)*. Tesis de Maestría, Departamento de Química, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

Pabón, L. D. (2009). *Estudio químico del tallo y volátiles de hojas de *Dioscorea macrophylla* (Lauraceae) y evolución de actividad biológica*. Tesis de Maestría, Departamento de Química, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

Taján, G., Timár, I. y Takács, J. M. (1990). "Fiftieth Anniversary of the Retention Index System in Gas-Liquid Chromatography", en *Chromatography Reviews*, No. 27, pp. 213-307.

Vicerrectoría de Investigación (2010). Una copia del Decreto 309 del 25 de febrero de 2000 y demás disposiciones legales vigentes sobre acceso a recursos genéticos se encuentra en Dirección web de la VRI de la Universidad Nacional de Colombia: <http://www.unal.edu.co/viceministerio/nuevo/paginas/actividadinvestigativa/tramites/recursogeneticos/RECURSOGENETICO.html>. Recuperado el 2 de marzo de 2010.



# Sitios web



## AÑO INTERNACIONAL DE LA BIODIVERSIDAD

<http://www.un.org/es/events/biodiversity2010/background.shtml>

Las Naciones Unidas declararon el 2010 como el Año Internacional de la Biodiversidad.

La página se encarga de divulgar el significado y las actividades propuestas. A continuación reproducimos el siguiente fragmento que permite un primer acercamiento al tema.

### Antecedentes

La Asamblea General de las Naciones Unidas proclamó el año 2010 Año Internacional de la Diversidad Biológica con el fin de atraer más la atención internacional al problema de la pérdida continua de la biodiversidad. Se propone aprovechar esta oportunidad para:

- Destacar la importancia de la biodiversidad en la vida humana.
- Reflexionar sobre nuestros logros en la conservación de la biodiversidad.
- Alentar a redoblar nuestros esfuerzos para reducir significativamente el ritmo de pérdida de biodiversidad.

Hacer frente a la diversidad biológica requiere la participación universal. La comunidad mundial, mediante actividades organizadas en todo el planeta, debe unir sus esfuerzos para un futuro sostenible para todos nosotros.

Designa la Secretaría del "Convenio sobre la Diversidad Biológica" como el centro de coordinación para el Año Internacional de la Biodiversidad. Establecido en la "Cumbre de la Tierra" de Río de Janeiro en 1992, el Convenio sobre la Diversidad Biológica es un tratado internacional para la conservación y la utilización sostenible de la biodiversidad y la distribución equitativa de los múltiples beneficios de la biodiversidad. Con 193 partes, el Convenio sobre la Diversidad Biológica tiene una participación casi universal.

Gracias al Año Internacional de la Biodiversidad 2010 esperamos reflejar los objetivos de las organizaciones que trabajan en todo el mundo para salvaguardarla. De esta manera, los objetivos del Año Internacional de la Biodiversidad 2010 son los siguientes:

- Mejorar la conciencia pública sobre la importancia de salvaguardar la diversidad biológica y también sobre las amenazas subyacentes a la biodiversidad.
- Aumentar la conciencia de los logros para salvar la diversidad biológica que ya han sido realizados por las comunidades y los gobiernos.
- Alentar a las personas, las organizaciones y los gobiernos a tomar las medidas inmediatas necesarias para detener la pérdida de la biodiversidad.
- Promover soluciones innovadoras para reducir las amenazas a la biodiversidad.
- Iniciar el diálogo entre las partes interesadas por las medidas que deben adoptarse en el período posterior a 2010.

Además de lo anterior, las siguientes páginas brindan información sobre las actividades que se realizaron en Latinoamérica durante el año 2009, acceso a los documentos producidos y la programación de los eventos que se llevarán a cabo en Latinoamérica y en Colombia este año, dentro de las actividades internacionales alrededor de la biodiversidad.

<http://www.countdown2010.net/sudamerica/ano-biodiversidad>  
<http://www.humboldt.org>



**pagosonline.net**  
 El pago seguro en Internet

Vende fácilmente por Internet con toda tranquilidad, usando la mas avanzada tecnología en detección contra el fraude electrónico.

Contáctanos ya en:  
[www.pagosonline.net](http://www.pagosonline.net)



PBX: (+1)7 563 126



ASOCIACIÓN COLOMBIANA  
PARA EL AVANCE DE LA CIENCIA

Publicación trimestral  
que informa sobre los  
últimos avances en  
Ciencia y Tecnología  
realizados en Colombia  
y el mundo

# Revista Innovación y Ciencia

*Un paso adelante en Ciencia y Tecnología*

## Cupón de suscripción

Suscripción anual para Bogotá \$50.000 • Precio número regular \$12.000 • Precio edición especial \$15.000 • Suscripción gratuita para asociados

DÍA      MES      AÑO

NOMBRE

SUSCRIPCIÓN POR UN AÑO  
4 EJEMPLARES  
A PARTIR DEL NÚMERO

DIRECCIÓN

TELÉFONO

FAX

CELULAR

CC. O NIT.

CIUDAD

CORREO ELECTRÓNICO

PROFESIÓN

ESPECIALIDAD

FORMA DE PAGO

EFFECTIVO

TARJETA DE CRÉDITO N°

ACEPTO RENOVACIÓN AUTOMÁTICA SI  NO

DINERS

VISA

MASTER CARD

AMERICAN EXPRESS

VENCE

CUOTAS

NÚMEROS DE SEGURIDAD

CHEQUE

CHEQUE N°

BANCO

Consignación a nombre de «Asociación Colombiana para el avance de la Ciencia» en:  
Banco de Occidente, cuenta de ahorros N° 26880746-5 • Banco Agrario, cuenta de ahorros  
N° 0230-002930-5 • Banco Popular, cuenta corriente N° 160-203196.  
Envíe su comprobante de pago junto con este cupón al fax: **2216950** y **2219953** o por correo a la  
sede de ACAC en Bogotá: Calle 44 N° 45- 67 Unidad Camilo Torres • Bloque C • Módulo 3

FIRMA