

Innovación y Ciencia

Volumen xvii • Nº 4 • Tarifa postal reducida 2050 -194 • Colombia \$ 12.000



ASOCIACIÓN COLOMBIANA
PARA EL AVANCE DE LA CIENCIA

REVISTA INNOVACIÓN Y CIENCIA
VOLUMEN XVII N° 4- 2010

PUBLICACIÓN DE:

Asociación Colombiana para el Avance
de la Ciencia, ACAC

JUNTA DIRECTIVA ACAC

Eduardo Posada Flórez

Marcelo Riveros R.

Beatriz Bechara Cabrera

Carlos Corredor P.

Elena Stanshenko

Guillermo Hoyos V.

Helena Groot

Horacio Torres S.

José Félix Patiño

Rubén Ardila Ardila

Corporación para Investigaciones

Biológicas - CIB

Centro Internacional de Entrenamiento

e Investigaciones Médicas - CIDEIM

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

COORDINACIÓN EDITORIAL

María Carolina Suárez S.

COMITÉ EDITORIAL

Eduardo Posada Flórez

Carmen Helena Carvajal

Elizabeth Castañeda

Marcelo Riveros

Jordi Carreras

CONSEJO EDITORIAL INTERNACIONAL

José Antonio López Cerezo

Alejandro Franco García

PRODUCCIÓN, DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

Susana Carrié M.

CORRECCIÓN DE ESTILO

Eduardo Aristizabal

FOTOGRAFÍA

Autores y Banco de imágenes

IMPRESIÓN

Nomos Impresores

COMERCIALIZACIÓN

Departamento de Mercadeo de ACAC

DISTRIBUCIÓN

Distribuidoras Unidas



CARÁTULA

Loto florecido

Foto: Susana Carrié

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 publicidad 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 0121-5140

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

ACAC Calle 44 N° 45-67, Unidad Camilo Torres Bloque C, Módulo 3

Teléfonos: 3150734 – 3155900

Fax: 2216950

Email: 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.

Mensajes que nos estimulan ◀-----▶ 9



Notas cortas ◀-----▶ 10

Plantas a la defensiva

RAFAEL ANTONIO FORERO M.



Biología ◀-----▶ 14

Biología del comportamiento: aspectos históricos y conceptuales

JUAN FERNANDO DUQUE OSORIO



Física teórica ◀-----▶ 24

La partícula de Higgs: ¿una buena explicación de la masa o sólo elegancia matemática?

DIEGO CANO MÉNDEZ

LUCERO ÁLVAREZ MIÑO



Síntesis orgánica ◀-----▶ 32

Zanahorias y otras hortalizas que revolucionan la síntesis en química orgánica

DIEGO ALEXANDER GAMBA SÁNCHEZ



Sumario

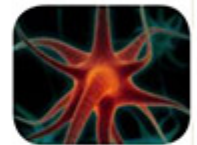
Innovación y Ciencia • Volumen XVII • Nº 4 • 2010

Biotecnología

El cultivo de células: sembrando para la investigación, el diagnóstico y el tratamiento terapéutico

MAURICIO MARTÍNEZ SALAZAR

41



Divulgación científica

Escribir divulgación de la ciencia

GERMÁN CUBILLOS ALONSO

50



Ver para conocer... conocer para preservar

FOTO: EDUARDO CARVAJAL

61



Gestión de la investigación

Las alianzas académico – administrativas, la clave para la gestión de la investigación universitaria: el caso de la Universidad del Norte

RAIMUNDO ABELLO LLANOS, PH.D.

62



Páginas web

70



En días pasados, la ACAC hizo entrega por vigésima vez del premio al mérito científico en sus diferentes modalidades. Al igual que en años anteriores, los ganadores fueron muy prestantes representantes de la comunidad científica colombiana. Julio Carrizosa Umaña, en la categoría de vida y obra, Germán Poveda Jaramillo en la de investigador de excelencia, el programa Ondas de Colciencias en la de divulgación de la ciencia, los grupos de películas delgadas y de compuestos heterocíclicos de la Universidad del Valle en la de grupos de investigación de excelencia y el profesor Edgar Romero Castro de la Universidad Nacional en la de innovación tecnológica. La calidad de los candidatos, más de 50 en esta oportunidad, es una muestra del indiscutible nivel que ha alcanzado la ciencia colombiana.

Mirando lo anterior, es bueno recordar que, cuando hace algunos años, en el marco de la Misión de Ciencia Educación y Desarrollo, proponíamos que Colombia incrementara su inversión en ciencia y tecnología hasta el 1% del PIB, prestigiosos economistas del DNP nos respondían que esa meta era utópica y que el país no tenía capacidad para ejecutar adecuadamente ni siquiera la mitad de esa cifra. Sobra decir que esa visión terminó por imponerse y es por ello que, siendo generosos, en la actualidad no sobrepasamos el 0,4% del PIB que nos coloca en uno de los últimos lugares en Latinoamérica en ese campo.

Es incontestable que hoy Colombia presenta condiciones totalmente distintas y posee una capacidad más que suficiente para ejecutar con éxito programas de ciencia, tecnología e innovación en montos que superen ampliamente el valor propuesto en ese entonces. Garantía de ello son la abrumadora cantidad de anteproyectos presentados a las convocatorias de Colciencias, el número creciente de grupos de investigación y de investigadores activos registrados en esa entidad y la excelente calidad de su trabajo, atestiguada por los resultados del Premio al Mérito Científico o por galardones que, como el de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, no hacen sino corroborar esa afirmación.

Para fortuna nuestra, desde el día de su posesión el Presidente Santos ha dado un gran impulso al tema de ciencia, tecnología e innovación, convirtiéndolo en uno de los cinco pilares de su plan de gobierno. Esa magnífica decisión ha estado acompañada de avances concretos en la financiación para el sector, que se han traducido en un aumento notable del presupuesto de Colciencias para el próximo año, en la firma de un crédito de 500 millones de dólares del BID y el Banco Mundial con el mismo fin y en la propuesta de que el 10% de las regalías se destine a programas en ciencia tecnología e innovación para el desarrollo regional. Es simbólico que precisamente el día de la entrega del Premio al Mérito Científico, la plenaria de la Cámara de Representantes aprobara en cuarto debate, la reforma constitucional que hará eso posible.

Es muy importante en ese marco entender que es imposible pensar en innovación y desarrollo tecnológico sin tener paralelamente un claro desarrollo científico. La ciencia ha sido la base de los grandes avances tecnológicos recientes y la innovación que el país necesita para proyectarse hacia el futuro no puede lograrse sin una sólida base de conocimiento.

En octubre del próximo año se celebrará en Bogotá la XII edición de Expociencia Expotecnología que será una magnífica oportunidad para que el país muestre todo lo que hace en este campo tan importante. Esperamos contar con una masiva participación de todos los sectores de la vida nacional.

Eduardo Posada Flórez
Presidente

Carmen Helena Carvajal 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)".
- Sólo 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 fotos) 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 DPI) en formato .tif, .jpg o .eps.
- Esquemas gráficos explicativos (versión impresa o digital).
- Tablas o recuadros 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 Neuroleukin," 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, los 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: 3155898 • 3150734
innovacionciencia@acac.org.co
Bogotá, DC, Colombia

UNIVERSIDAD DEL NORTE: genera **conocimiento** que impulsa **desarrollo**

UNINORTE da su espaldarazo al desarrollo empresarial y social a través de proyectos de investigación I+D articulados a la innovación, realizados en alianza con empresas y organizaciones del Estado y privadas del ámbito nacional e internacional.

Casos exitosos de investigación



Modelo de gestión del conocimiento para la industria naval

COTECMAR, Uninorte y Colciencias, en un trabajo conjunto e interdisciplinario, generó un modelo de gestión basado en conocimiento que permite la integración de procesos, recursos humanos y tecnológicos. Se trata de la generación de estrategias y herramientas que permiten llevar el conocimiento, habilidades y experiencias individuales a estadios colectivos en la empresa, para facilitar y propiciar la innovación en la perspectiva de generar ventajas competitivas. El modelo está siendo implementado.



Eficiencia energética en la producción de cemento

Cementos Argos Planta Caribe desarrolló un sistema de cadenas en un horno de tecnología húmeda de la empresa. Con este proyecto la empresa mejora sus costos de producción al tiempo que reduce el consumo calórico y el impacto ambiental por la emisión de polvo. Uno de los productos de este proyecto está en proceso de patentamiento.



Calidad y eficiencia en el sector de la construcción

Ladrillera Barranquilla Ltda., en alianza con Uninorte y Colciencias, desarrolló un sistema que optimiza el proceso de secado de ladrillos para disminuir el tiempo de fabricación, reducir el desperdicio de material, mejorar la calidad del producto final y reducir costos de producción.



Suministro confiable de gas natural

Promigas S.A. E.S.P., con el acompañamiento de Uninorte y Colciencias, desarrolló el rediseño, automatización y optimización de las operaciones de la estación de regulación de gas natural Arenosa, que alimenta al sector industrial y doméstico de Barranquilla y el Atlántico, logrando implementar un esquema de supervisión inteligente de la estación y un optimizador de presiones de distribución de la red, lo que aumenta la confiabilidad del sistema y permite reducir los riesgos operacionales.



Transporte terrestre de pasajeros: confiable y seguro

Expreso Brasilia S.A., conjuntamente con Uninorte y Colciencias, desarrolló un sistema de información o *software* que le permite tomar las decisiones correctas sobre cómo programar un plan de rodamiento óptimo, que se traduce en aprovechamiento de sus recursos y mejora en el servicio a sus usuarios.

Correo



Mensajes que nos estimulan. Gracias.

Doctor Posada y demás miembros del equipo, FELICITACIONES, la semilla esta en suelo fértil y sus ramas son verdes, los frutos están naciendo, perseverar en las metas imposibles, las acerca día a día hasta que se hacen realidad y nos proponen nuevos y más exigentes retos.

Cordialmente
César Augusto Torres López
Director Apropiación de TIC

Cordial saludo a los miembros de la ACAC

Los felicito por esos 40 años de apoyo al desarrollo del recurso humano e infra estructura. Apoyo sus iniciativas y alegremente participaré de ellas en los planes futuros en este continuo trabajo por hacer un País desde la Ciencia.

Alba Graciela Ávila Bernal

Muchas felicitaciones a la ACAC por tan importante trabajo para Colombia; a sus directivas y equipo de trabajo nuestro reconocimiento por esa importante labor y por el liderazgo que durante 40 años han tenido; han sido los pioneros en poner el tema de ciencia y tecnología en la agenda de los gobernantes y en la cabeza de los colombianos, con sus programas de la divulgación de la ciencia, los premios, Maloka, las publicaciones y demás han buscado que se le de al tema la importancia que debe tener, aunque no siempre es fácil convencer a los tomadores de decisiones del papel fundamental de la ciencia en la construcción de una sociedad competitiva y sostenible, pero en esto su trabajo ha sido incansable, muchas gracias. Su labor apenas comienza, los necesitamos mucho y mucho más. Esperamos que su compañía y enseñanzas nunca nos falten. Muchos éxitos en los mil años más de vida.

Un abrazo

Elsa Matilde Escobar
Directora Ejecutiva
Fundación Natura Colombia
Carrera 21 No. 39-43
Bogotá, Colombia
www.natura.org.co

Notas breves

Plantas a la defensiva



RAFAEL ANTONIO FORERO M.

MSc. BIOQUÍMICA-EPIDEMIOLOGÍA.

rforeromolano@gmail.com

Resumen

Aunque se ha perfeccionado la visión en torno a los diferentes perfiles que ofrece la inmunología, como la respuesta antígeno anticuerpo, o los mecanismos de acción celular, etc., sería interesante abordar un tipo de respuesta semejante y compleja, con igual valor en el mecanismo de defensa. Aparte de los grandes esfuerzos de los centros de investigación vegetal contra plagas, las plantas han desarrollado a lo largo de la evolución, mecanismos naturales de defensa, que, sin lugar a dudas, son equivalentes a las respuestas humorales o celulares de los animales. Pero, ¿son igualmente perfectos y selectivos a los del sistema inmune animal?, ¿son adaptables y tienen memoria inmunológica?

A diferencia de los animales, las plantas no pueden escapar del peligro de sus depredadores. Entonces, ¿qué mecanismos emplean las acacias, por ejemplo, para hacer que sus espinas sean más agudas cada vez y puedan evadir las jirafas? Las plantas, son susceptibles a virus, bacterias, hongos, nematodos e insectos que generan enfermedad y en ocasiones causan la muerte del vegetal al igual que cualquier organismo de la naturaleza (Freeman, 2010).

Animales y plantas presentan mecanismos complejos y semejantes de inmunidad, que van desde mecanismos preexistentes, como la formación de una cutícula serosa equivalente a la piel, primera línea de defensa, hasta mecanismos bioquímicos y moleculares inductores que involucran la activación de ciertos genes, cuyos productos generan resistencia y de alguna manera, cierta inmunidad.

Las plantas pueden producir espinas, púas o tricomas que las defienden en un momento dado de la depredación. Un aspecto relevante en el mecanismo de defensa de las plantas es su simbiosis con especies animales, una forma de ayuda mutua y reciproca que también favorece la supervivencia de la planta (García, 2004).



Figura 1.

Como se aprecia en la fotografía, las plantas sufren ataques de herbívoros y deben contrarrestar de manera eficaz estos ataques, ya sea modificando o adaptando sus hojas como púas para evitar a los grandes herbívoros. Tomado de: http://riv.zcache.com/lunch_at_the_acacia_tree_mousepad-p144504601964510849trak_400.

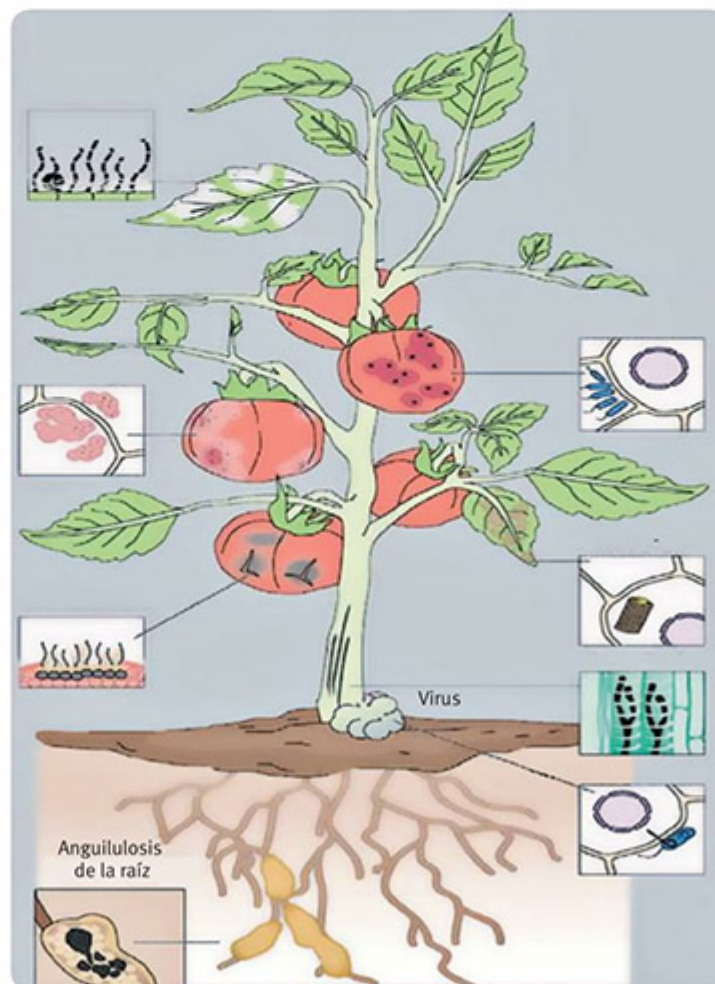
Figura 2.

La figura muestra cómo la planta se asocia con individuos de otras especies no vegetales para protegerse, en este caso las hormigas protegen a la planta contra las herbívoras y a su vez la planta brinda refugio a las hormigas. Tomado de : http://plataformasinc.es/var/ezwebin_site/storage/images/en-exclusiva/imagenes-embargadas/el-curioso-caso-del-insecto-que-se-hace-pasar-por-hormiga/560824-1-esl-MX/El-curioso-caso-del-insecto-que-se-hace-pasar-por-hor



Figura 3.

La figura muestra la vulnerabilidad de la planta de tomate a diferentes patógenos y posibles áreas de infección. Tomado de: http://www.porquebiotecnologia.com.ar/imagenescuadernos/cuaderno_93_actividades_patogenos_enfermedades.



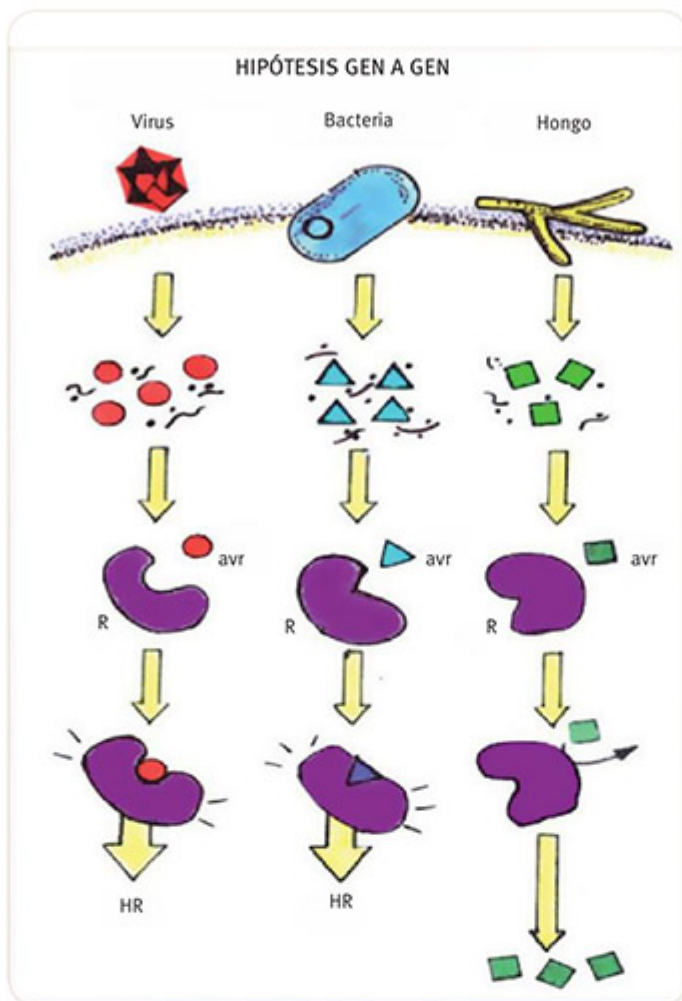


Figura 4.

En el proceso infeccioso los microorganismos producen partículas que son reconocidas por proteínas de los genes R generando así una respuesta hipersensible, las partículas *avr* no reconocidas seguirán el curso de la infección.

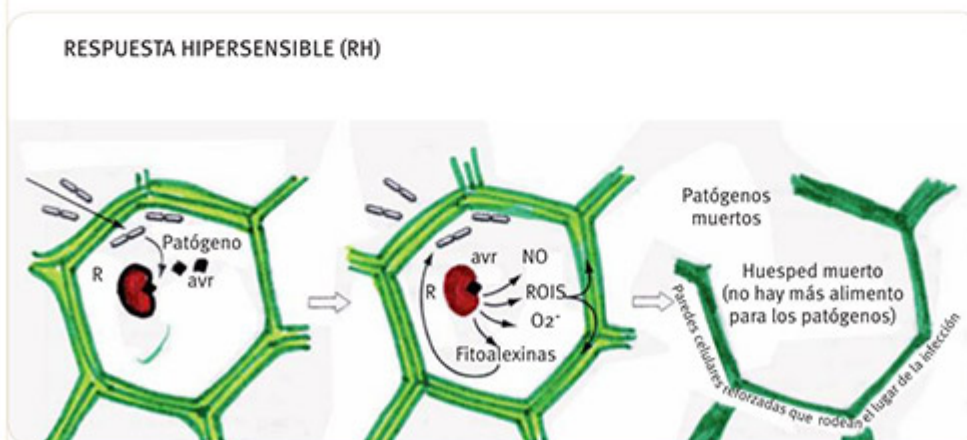


Figura 5.

La figura muestra la activación y producción de intermediarios del oxígeno como NO, ROIS y fitoalexinas que permiten el fortalecimiento de las paredes celulares y apoptosis que en consecuencia genera la muerte del invasor a causa de hambre (Freeman 2010).

Si un virus, bacteria u hongo, llega al interior de una planta las células infectadas responden suicidándose, lo que en términos inmunológicos se denomina apoptosis¹. La muerte rápida y localizada de una o varias células infectadas recibe el nombre de *respuesta hipersensible (RH)*. Si la RH tiene éxito, el agente patógeno muere de hambre cuando las células huésped mueren a su alrededor. La respuesta hipersensible de las plantas es similar a la respuesta inmune mediada por células en mamíferos, que inducen muerte celular programada. La RH es eficaz ya que las plantas que tienen una tasa de respuesta hipersensible casi nunca sucumben a la enfermedad.

¿Cómo siente la planta la presencia de patógenos para generar una respuesta hipersensible capaz de matarla? la planta es capaz de sentir cuerpos extraños, gracias a ciertos genes que se transmiten de manera mendeliana y que generan respuesta hipersensible frente a patógenos. Estos genes se denominan **genes R** de resistencia (Mach 2009). En el proceso de infección, cualquier agente patógeno sea virus, bacteria u hongo, produce moléculas como polisacáridos o proteínas que los hacen virulentos, estos productos génicos se denominan **avr** de virulencia. Un estudio realizado en 1956 por H. Flor estableció que existía una correspondencia entre los productos de los genes avr y R, de la misma forma que un receptor a un ligando, hipótesis denominada **gen a gen**, figura 4 (Geisser 2010).

Son varias las alternativas que se presentan cuando un producto **avr** se acopla a factor R, una de ellas es la producción de óxido nítrico e intermediarios reactivos de oxígeno (**ROIs**), estos pueden ser peróxido de hidrógeno (H₂O₂) y los iones superóxido (O⁻²) que ayudan a reforzar las paredes celulares. Además, el óxido nítrico y los ROIs degradan las enzimas de las células a punto de infectarse matando así esas células. De modo semejante, las células del sistema inmune suelen usar una combinación NO y ROIs para matar células infectadas. El acoplamiento R-avr induce la producción de fitoalexinas, como resultado, la respuesta hipersensible motiva la creación de paredes alrededor de la zona infectada, causando no sólo la muerte de las células vegetales sino la del invasor a causa de hambre después de la apoptosis. figura 5. (García 2004).

Una vez generada la RH en un área específica, se genera una serie de acontecimientos más lentos y extensos que en conjunto constituyen una resistencia sistémica adquirida (SAR). En el curso de varios días, SAR prepara a las células del sistema de raíces o brotes para resistir al agente patógeno. La figura 6 ilustra el mecanismo de acción SAR –RH. Además, de desencadenar la RH, la interacción entre los productos de los genes R y avr ocasiona una señal que inicia SAR. Durante SAR se genera una señal que activa un grupo de genes denominados PR (relacionados con patogénesis), esta señal es la molécula ácido salicílico (Freeman 2010).

¿Cómo sanan sus heridas las plantas?

Los estudios realizados en hojas de tomate permitieron aislar una hormona asociada con la producción de inhibidores de proteínasa (Hirt, 2002). La hormona activa en las plantas del tomate es un polipéptido de 18 aminoácidos de longitud llamada sistemina.

Cuando un escarabajo ataca una planta de patata por ejemplo, las células dañadas producen la sistemina, la cual migra desde las células dañadas hacia los tejidos sanos, uniéndose a un receptor localizado en la membrana celular que genera la producción de ácido jasmónico, el cual activa la producción de inhibidores de proteínasa que al final disuaden al herbívoro de emprender más ataques (Song 1995).

Vemos aquí que la inmunología de plantas comparte aspectos bioquímicos y moleculares con los animales y que existen procesos semejantes a las respuestas humorales la activación y reconocimiento de los receptores avr y celulares, como es el caso de la sistemina, incluso que los procesos de muerte celular programada apoptosis tienen el mismo fin. Pero, ¿podrían adaptarse estos mecanismos a una respuesta inmune animal que permita perfeccionar su respuesta frente a procesos invasivos tan evolucionados como el de los retrovirus?

1. Dioscórides habla de la *apoptosis* de las flores, proceso gradual por el que caen las flores de una planta.

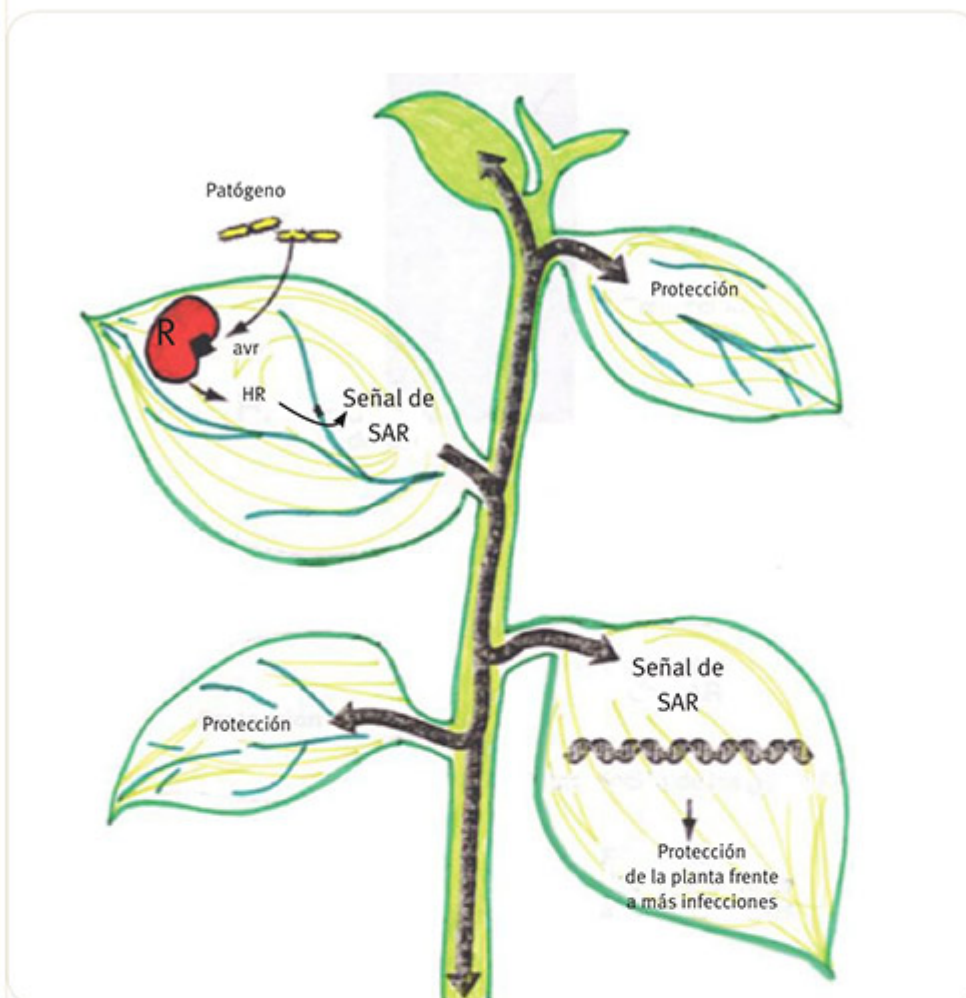


Figura 6.

Respuesta sistémica adquirida (SAR). Mecanismo de acción a través de la respuesta hipersensible.

Referencias

- Freeman, S. 2010. "Fundamentos de Biología", Editorial Pearson, 3-Ed. pp: 884-889.
- García, E. Lozoya, E. 2004. "Genes de resistencia a enfermedades en plantas", en *Revista Mexicana de Fitopatología*. 22(3):414-416.
- Geisser, C. Patochi, A. 2009. Identification of avr-genes in *Venturia inaequalis*. Plant Pathology en: <http://www.path.ethz.ch/research/projects/closed/8879/index>.
- Hirt, H. 2002. "A new blueprint for plant pathogen resistance", en *Nature Biotechnology*. 20:450-451.
- Mach, J. 2009. "Beyond the type genome: discovery of novel avirulence genes in the rice blast fungus by genomic resequencing and genetic association studies", en *The Plant Cell*. 21:1325-1327.
- Song, W. Y. Zhu, L. Fauquet, C. Ronald, P. 1995. "A receptor kinase-like protein encoded by rice disease resistance gene" Xa21, en *Science*. 270:1804-1806.

Biología del comportamiento: aspectos históricos y conceptuales

JUAN FERNANDO DUQUE OSORIO, MSc.
BIÓLOGO-ZOÓLOGO
MASTER EN CIENCIAS BÁSICAS MÉDICAS
DE LA UNIVERSIDAD DEL VALLE |

juanferduque@gmail.com

Resumen

Se empieza explicando las diferencias conceptuales e históricas entre dos términos importantísimos dentro de las ciencias del comportamiento: etología y sociobiología. Se continúa haciendo una reseña de los puntos claves introductorios de la emblemática obra E.O. Wilson en sus dos ediciones (1975, 2000): *Sociobiología: la nueva síntesis*, para terminar sacando algunas conclusiones.

Etología

Viene del griego *ethos* (costumbre), y es una rama de la biología y de la psicología que se ocupa del comportamiento de los animales en condiciones de libertad, laboratorio o campo. Como animales que somos, los humanos también formamos parte del campo de acción de esta rama de la biología, caso en el cual estamos hablando de etología humana. Tradicionalmente dentro de los objetivos de los etólogos encontramos el estudio de la conducta y el instinto, y de comportamientos innatos vs aprendidos. Así, dentro de la etología han sido estudiados aspectos como la agresividad, el apareamiento, el desarrollo del comportamiento, la impronta, entre muchos otros.

Desde tiempos inmemorables el hombre ha sentido curiosidad por el comportamiento animal. En épocas más recientes, se puede registrar el profundo interés que sintió Charles Darwin por tópicos como el enterramiento de la lombriz de tierra, el apareamiento de los abejorros, los despliegues de ciertas aves y las expresiones faciales del perro y del hombre (Darwin, 1872). Pero según Alcock (1998), fueron Niko Tinbergen y su amigo Konrad Lorenz quienes, a mediados de la década de 1930, ayudaron a que el estudio del comportamiento animal se tornara parte de la biología moderna. Estos dos investigadores guiaron en esta época el desarrollo de la etología, investigando, junto con otros científicos, causas próximas y últimas de un amplio espectro de cuestiones comportamentales zoológicas. Tinbergen y Lorenz, junto con Karl von Frisch, recibieron en 1973 el Premio Nobel de Fisiología y Medicina por sus estudios etológicos y por enseñarnos a estudiar el comportamiento animal en primer lugar (Eisner & Wilson, 1975).

Las causas próximas se refieren a preguntas del tipo “cómo”. ¿Cómo se produce X comportamiento en un determinado animal? Las causas últimas se refieren a preguntas del tipo “por qué”. ¿Por qué tal especie animal muestra Y comportamiento? Estas preguntas se enfrentan con concepciones evolutivas. Hacer una pregunta última es preguntar por la evolución de determinado comportamiento o estructura.

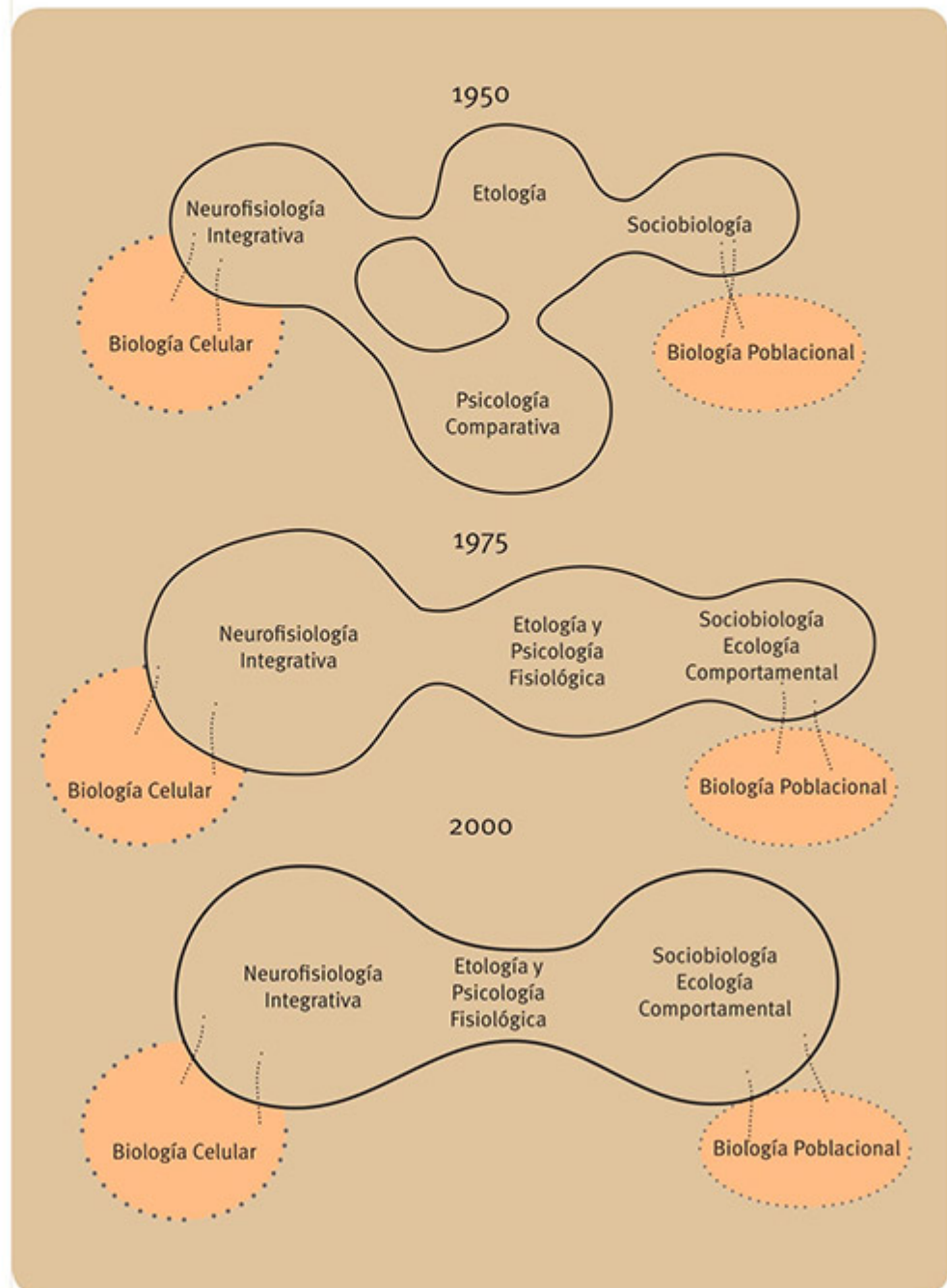
En la etología se han ido conjugando rápidamente la neurobiología, la ecología y la teoría evolutiva (Eisner & Wilson, 1975). Además de la diferenciación entre causas próximas y últimas, la etología se ocupa de al menos dos niveles de organización biológica: en el más bajo está el organismo, el comportamiento del individuo, el cual a su vez puede ser descompuesto en sus componentes sensitivos, nerviosos y motores, pero sólo para entender el comportamiento como un todo. El nivel más alto es el poblacional, lo cual ya es terreno de la sociobiología (Eisner & Wilson, 1975). Así, la etología puede ser tomada como un componente de la sociobiología, que se diferencia de la última por tender a ocuparse más del nivel fisiológico-individual.

Sociobiología

En principio, y como se acaba de dejar implícito, se puede decir que la sociobiología es el estudio de las bases evolutivas del comportamiento animal a nivel ecológico. La sociobiología se ocupa de todos los aspectos del comportamiento social y sexual vistos ecológicamente como un dispositivo que le permite al organismo interactuar con todo su ambiente (Eisner & Wilson, 1975). Sin embargo, si se hace un recorrido por la obra emblemática de Wilson, *Sociobiología: la nueva síntesis*, (2000), queda el sabor de que esta rama de la biología tiene un poco más de ecología que de evolución [incluso me atrevería a decir que la sociobiología es prácticamente una rama de la ecología (ecología del comportamiento: Figura 1)].

Figura 1.

Propuesta subjetiva de la relación y distribución de las disciplinas relativas a la biología comportamental. Modificado de Wilson (1975).



La moralidad del gen: primer capítulo de la Sociobiología de Wilson (1975). Este capítulo más bien funciona como un prefacio. A continuación, se incluyen algunas de las ideas más importantes.

Richard Dawkins (1993) dijo que, independientemente, él y Wilson (1975) llegaron a la misma idea sobre el hecho de que los organismos sirven como vehículos temporales de genes y que la función principal de cada organismo es reproducir precisamente eso: genes. La selección natural es el proceso por medio del cual ciertos genes ganan mayor representación en las siguientes generaciones. El famoso aforismo de que una gallina es solo la forma como un huevo fabrica otro huevo ha sido modernizado: un organismo es solo la forma como el ADN hace otro ADN. Y en cuanto al comportamiento de los vertebrados, no hay que olvidar entonces que el diseño del hipotálamo y el sistema límbico respondería a la necesidad de perpetuar el ADN. El sistema límbico evolucionó por selección natural y, según Wilson (1975), ese simple hecho debe ser explorado para explicar la ética, los filósofos éticos, la epistemología y los filósofos epistémicos. En pocas palabras, nuestros sistemas emocionales nos hacen sentir y pensar que hay cosas que tienen "vital" importancia para cada uno de nosotros, cuando lo que en realidad importa es que los genes nos usen para traspasarse de generación en generación. "*Death is irrelevant* (La muerte es irrelevante)" como dirían los Borg en *Viaje a las Estrellas - TNG*" (Piller & Bole, 1990), pues se concluiría que lo realmente importante es que sobreviva la información o una parte importante de esta. Por eso será que Wilson (1975) empieza este capítulo descalificando la idea de Albert Camus (1942), quien dijo que la única pregunta filosófica sería es el suicidio, enmarcada en su ensayo *El mito de Sísifo*.

Pero en esta perspectiva de gen egoísta, surge una pregunta teórica central para la sociobiología: ¿cómo puede el altruismo, el cual por definición reduce el "*fitness* (rendimiento)" personal, evolucionar por selección natural? La respuesta es parentesco: si los genes que causan el altruismo son compartidos por dos organismos por su ascendencia común, y si el acto altruista de un organismo aumenta la contribución conjunta de estos genes a la próxima generación, es posible que el altruismo se difunda en el acervo genético. El complejo hipotálamo-sistema límbico de una especie altamente social como el hombre ha sido programado para actuar como si supiera que sus genes van a ser máximamente proliferados si orquesta respuestas comportamentales que produzcan una mezcla eficiente de supervivencia personal, reproducción y altruismo. Esto producirá mezclas de amor y odio, agresión y miedo, etc., no para hacer feliz al individuo, sino para favorecer la máxima transmisión de los genes involucrados (Wilson, 2000). Además, y a diferencia de Dawkins (1993), Wilson (1975) reconoce que hay otros niveles de organización sobre los cuales la selección natural puede actuar. Estos niveles incluyen el individuo, la familia, la tribu, etc. Dado que lo que es adecuado para un nivel de organización puede no serlo para otro, el resultado es selección contra-actuante en cada nivel, lo que, a su vez, produce que unos genes se multipliquen y se fijen, otros se pierdan, y las combinaciones de otros se conserven. Así, algunos genes van a producir estados emocionales que reflejan el balance de fuerzas selectivas contrarias en diferentes niveles de organización.

Entre otros aspectos, la sociobiología también se ocupa del comportamiento social y de las características organizativas y de adaptación del hombre "primitivo". Sin embargo, la Sociobiología, *sensu stricto*, trata de explicar el comportamiento humano estudiando fenómenos superficiales sin referencia a explicaciones evolutivas, como lo hacen la taxonomía y la ecología. Entonces, aunque la sociobiología, *sensu lato*, es presentada por Wilson (2000) como una "aspirante a rama de la biología evolutiva", en *sensu stricto* todavía es muy ecológica, y en el pasado fue muy identificada con la etología y, por lo tanto, con la fisiología comportamental.

Pero quizás la idea más provocativa de este capítulo es la siguiente, la misma que por su importancia se incluye textualmente: "Puede no ser mucho decir que la sociología y las demás ciencias sociales, al igual que todas las humanidades, son las últimas ramas de la biología que esperan ser incluidas en la síntesis moderna". Y más adelante dice que "falta ver si las ciencias sociales pueden ser biologizadas de esta forma". En el primer capítulo de su Sociobiología, con síntesis moderna Wilson (1975) se refería a la síntesis neodarwinista de las décadas de 1930 y 1940, bautizada como síntesis moderna por Huxley (1942), pero conocida por otros nombres como síntesis evolutiva moderna. Esto es importante porque, ante tamaña afirmación con respecto a las humanidades, es de agradecer que Wilson (1975)

no haya dicho que éstas esperan a ser incluidas en su propia síntesis sociobiológica. El autor de esta revisión reconoce su afición por los escritos de Wilson, la sociobiología, la evolución, etc., pero pretender biologizar las humanidades ya es demasiado. Las consecuencias de esto serán discutidas en las conclusiones de esta revisión.

Haciendo referencia a la figura 1, Wilson (1975) dice que el sentido común dictaría que la etología, con sus estudios naturalistas de patrones completos de comportamiento animal, y su compañera, la psicología comparativa, son los campos centrales y unificantes de la biología del comportamiento. Pero no lo son. Ambas estarían destinadas a ser canibalizadas por la neurofisiología en un extremo y por la sociobiología por el otro. Esto es lo que pensaba Wilson en 1975, y es una afirmación un poco agresiva, cuyas posibles consecuencias serán ampliadas en el aparte de conclusiones.

Prefacio Edición 2000 de la *Sociobiología* de Wilson: El último capítulo de la Sociobiología de Wilson (1975) se refería al ser humano, y se titula *El Hombre: De la Sociobiología a la Sociología*. Este fue el capítulo que más controversia causó y que provocó dos reacciones en Wilson. Primero, el prefacio de la segunda edición de su Sociobiología (Wilson, 2000) que está dedicado en una buena parte a contestar esta controversia. Pero como su intención no era contestar las controversias sino que fuera bien recibida su obra, en 1978 "hipertrofió" el citado capítulo sobre comportamiento humano en un nuevo libro llamado *Sobre la naturaleza humana* (Wilson, 2004). Así, este último libro es la secuela de la *Sociobiología: la nueva síntesis*, mientras que la precuela de este último fue *Las Sociedades de insectos* (Wilson, 1971), constituyéndose así una trilogía a la cual el mismo Wilson dice que llegó sin proponérselo.

En el prefacio de la *Sociobiología: la nueva síntesis*, segunda edición, Wilson se ve un poco más conciliador. De este pueden destacarse la siguiente idea: este libro fue escogido como el más importante libro en el campo del comportamiento animal, bordeando incluso a "La expresión de emociones en el hombre y los animales" de Darwin (1872). Esto se logró dado que la sociobiología integró los descubrimientos de muchos investigadores en un solo marco teórico de causa-efecto, ayudando además a conectar la disciplina del estudio del comportamiento animal con la biología evolutiva.

En cambio, el capítulo del libro que se ocupa del comportamiento humano (son 30 de 575 páginas de texto) causó una controversia académica muy tumultuosa que incluso se salió de la biología y llegó a las ciencias sociales. Esto tiene muchas explicaciones, una de las cuales, como ya vimos, es que en el primer capítulo de su Sociobiología, Wilson propone biologizar las humanidades. De todos modos, Wilson tiene buenas y lógicas razones con que defenderse. Dice que las críticas surgieron por dos grandes aparentes errores: el reduccionismo y el determinismo. El aparente reduccionismo de que el comportamiento humano se puede reducir a la biología. El segundo error (aparentemente) es

el determinismo genético, el creer que la naturaleza humana está enraizada en nuestros genes. Ambos aparentes errores o *flaws* están obviamente muy relacionados. Pero este tipo de posturas son anteriores a la Sociobiología de Wilson. En su libro *On Aggression* y otros escritos, Konrad Lorenz (1963) creó una controversia mayor al sugerir que gran parte del comportamiento humano, no menos que el de aves e insectos, es estereotipado y que es el producto de una historia evolutiva. Aunque actualmente muchas de las posturas de Lorenz han sido fuertemente disputadas al menos han abierto líneas de investigación frescas hacia las bases del comportamiento humano (Eisner & Wilson, 1975).

En todo caso, Wilson se defiende diciendo que el reduccionismo es la herramienta cortante principal de la ciencia, y además, sus detractores tampoco se dieron cuenta que su libro de sociobiología no solo es reduccionista sino también holista. Pero lo peor de todo es

que a los detractores de la Sociobiología de Wilson no se les ocurrió que esta era sobretodo interaccionista. En el punto de vista interaccionista, dentro del cual se suscriben prácticamente todos los que estudian el campo del comportamiento, la genómica sesga el desarrollo mental, pero no puede abolir la cultura.

...Konrad Lorenz (1963) creó una controversia mayor al sugerir que gran parte del comportamiento humano, no menos que el de aves e insectos, es estereotipado y que es el producto de una historia evolutiva...



Dawkins (1993) se defiende y defiende a Wilson (1975) de aquellos que los atacan de reduccionistas y deterministas. Para Dawkins (1993), los principales atacantes son los “sumos sacerdotes de la izquierda”, como él los llama: Lewontin et al. (1984) autores del libro *Not in our Genes*. Dawkins (1993) les refuta varias cosas, entre otras que es perfectamente posible decir que los genes ejercen una influencia en la conducta humana y, al mismo tiempo, creer que dicha influencia puede modificarse o anularse por otras influencias. Pero Wilson (2000) ejerce una defensa más general y digerible. Dice que estas críticas vienen principalmente de intelectuales marxistas representados principalmente por Stephen Jay Gould y Richard C. Lewontin. A ellos no les gusta para nada la idea de que la naturaleza humana tenga alguna base genética, dice Wilson (2000). Ellos (Gould y Lewontin) defienden la opinión contraria de que el cerebro humano en desarrollo es una “tabla rasa”. Esta es la posición política estándar tomada por los marxistas desde 1920: la política económica ideal es el socialismo y “cerebros tabla rasa” pueden ser acomodados a ella (Wilson, 2000). De hecho, según Wilson (2000), en los años 70 los viejos marxistas se vieron reforzados por miembros de una nueva izquierda, quienes dijeron “si los genes prescriben la naturaleza humana, se concluye que diferencias irradicables en la personalidad y las habilidades van a existir. Esta posibilidad no se puede tolerar”. Lo que no se puede permitir es que la admisión de ciertas diferencias se deslice hacia juicios de valor que permitan la existencia de “ismos” como el racismo, sexismo, opresión de clases, colonialismo, etc. Sin embargo, hacia el final del siglo XX la disputa ha sido resuelta. Variaciones genéticas de la personalidad y de la inteligencia han sido demostradas, a la vez que no se han demostrados diferencias estadísticas entre razas (Wilson, 2000). La Sociobiología de Wilson (1975) y el *El gen egoísta* de (Dawkins, 1993) también produjeron críticas en científicos sociales a un nivel más profundo y menos ideológico, basadas en la creencia de que la cultura es el único artesano de la mente humana. Al final, esta concepción también está basada en la hipótesis de la “tabla rasa”, la cual niega o simplemente ignora la biología. Todo esto está siendo reemplazado por la visión interaccionista entre biología y cultura como determinantes del desarrollo mental (Wilson, 2000).

A todo esto hay que agregarle que desde inicios del siglo XIX se ha asumido que las ciencias naturales, por un lado, y las ciencias sociales y humanas, por el otro, son epistemológicamente distintas, requiriendo diferentes vocabularios, modos de análisis y reglas de validación. Esta línea divisoria todavía fragmenta más el paisaje intelectual. La solución de esta división es reconocer que no se trata de una línea divisoria sino de un amplio territorio inexplorado que espera cooperación de ambos lados. Esto permitiría comprender el comportamiento humano y sus ramificaciones con explicaciones tipo causa-efecto yendo de la biología a la cultura, pues el significado objetivo de la naturaleza humana se encuentra en las disciplinas límite y no en los extremos de los genes ni de la cultura (Wilson, 2000).

Wilson (2000) termina el prefacio de esta edición de su Sociobiología haciendo un enlace entre comportamiento (humano) y conservación, (sus dos grandes pasiones). Hay que tener en cuenta que lo que ahora llamamos el campo o la naturaleza, era nuestro hogar. Pero, a partir de la revolución agrícola que inició el neolítico hace unos 10,000 años, nuestra naturaleza humana se quedó en el tiempo, mientras que en la realidad vivimos cada vez en ciudades más grandes y tecnificadas. En pro de nuestro desarrollo económico, consumimos proporciones cada vez más grandes del planeta, cuando a la vez añoramos esos parajes idílicamente naturales. He aquí el centro de la relación entre comportamiento humano y conservación. Claramente, la humanidad necesita encontrar la forma de estabilizar su población y preservar cuanto se pueda de los ambientes naturales de la tierra, mientras que a la vez obtiene estándares de vida decentes. El libro donde se sintetizan estos aspectos se llama *Biophilia* (Wilson, 1984), y en este el autor, entre otras cosas, defiende el hecho de que la conservación es algo ético, mientras que los preceptos morales deben estar basados en un conocimiento sensato y objetivo de la naturaleza humana. El argumento central y especulativo de dicho libro es que las reglas epigenéticas del desarrollo mental muy seguramente incluyen respuestas profundamente adaptadas al ambiente natural. Wilson (2000) está convencido de que, en la medida en que la necesidad de proteger el medio ambiente aumenta y se convierte en algo urgente (como ya está pasando), el enlace de las dos naturalezas (la humana y la silvestre) se va a convertir en una preocupación intelectual central.

Conclusiones:

Las características comportamentales pueden ser estudiadas de la misma forma como se hace con aquellas morfo-fisiológicas, incluyendo el hecho de poder ser trazadas comparativa y filogenéticamente (Eisner & Wilson, 1975). Ya no hay duda que los animales en general heredamos ciertos rasgos comportamentales, los cuales en los grupos más derivados tienden a estar enmascarados por el aprendizaje, pero en los grupos más generalizados se revelan claramente (Lorenz, 1958). Todo esto está relacionado con el hecho de que muchas veces los comportamientos innatos son resistentes al cambio evolutivo. Por eso, el último autor usaba la siguiente metáfora: los comportamientos innatos son como el esqueleto del comportamiento. Y la parte menos variable de un sistema es la mejor para empezar a ser estudiado. Probablemente, aquellos comportamientos que compartimos con especies relacionadas sean los mejores para empezar a ganar más conocimiento sobre el comportamiento humano.

Se había dejado para este aparte de conclusiones el hecho de que Wilson (1975) proponía biologizar las humanidades. No se entiende cómo una propuesta de este tipo viene de un autor de tal talla pues, para empezar, viola una de las fórmulas más elementales que se aprenden en cualquier pregrado en biología:

$$\text{Fenotipo (F)} = \text{Genotipo (G)} + \text{Ambiente (A = cultura)}$$

Y el ambiente en humanos es predominantemente la cultura. Que la cultura pueda tener raíces biológicas es cierto, pues esta última precedió a la primera (a la cultura). Además muchas manifestaciones culturales son meta-ritualizaciones o -tecnificaciones de impulsos biológicos; pero pretender biologizar las humanidades es negar el componente cultural de la anterior fórmula. Sin embargo, Wilson (2000) trata de aclarar esto y dice que los adversarios de su Sociobiología le vieron como un libro determinista y reduccionista. Se defiende diciendo que ningún académico serio va a pensar que el comportamiento humano está biológicamente determinado sin la intervención de la cultura, y defiende la visión interac-

cionista dominante en la cual interactúan la biología y la cultura a la hora de moldear el comportamiento humano. Esto está mucho mejor que decir que se pretende biologizar las humanidades. Estas últimas, como protagonistas de la cultura, pueden ser tomadas como epifenómenos de biología. O mejor, se podría decir que la cultura es un sistema complejo resultante de la biología, con propiedades emergentes que no pueden ser explicadas simplemente por el estudio de la misma (de la biología). Es por eso que es saludable propender acercamientos entre la biología y las humanidades, más no pretender reducir las últimas a la primera.

Volviendo a las "síntesis", llama la atención el nombre del libro: *Sociobiología: la nueva síntesis*. ¿Será que el Wilson de 1975 pretendía hacer una nueva síntesis de las magnitudes de la neodarwinista de los años 30 y 40? Al menos (Wilson, 1975) reconoce que pretende codificar su sociobiología como una rama de la biología evolutiva, acercándola un poco a la biología molecular y del desarrollo, pues en el pasado ha sido muy identificada con la etología y la fisiología comportamental. Pero de pronto con "síntesis" se quería hablar de algo más agresivo, pues Wilson (1975) dice que la etología podría ser canibalizada por la sociobiología, por un lado, y por la neurofisiología, por el otro. Esta opinión es respetable, pero uno podría decir también que la sociobiología podría ser canibalizada por la ecología, y al final todos los términos que nos hemos inventado relacionados con el comportamiento, terminarán en uno solo: biología del comportamiento, o algo así.

Pero todo lo anterior es la menor de las críticas que se le pueden hacer a la *Sociobiología: la nueva síntesis* de Wilson (1975) y por añadidura a *El gen egoísta* de Dawkins (1993). Como ya vimos, generalmente son acusados de deterministas y reduccionistas. Hemos visto como Dawkins (1993) y Wilson (2000) se defienden extensamente, pero principalmente reconociendo la importancia de la cultura en el desarrollo de la mente y comportamiento humanos. Las críticas a ambos autores vienen principalmente de sectores de izquierda que no están de acuerdo con las tesis consignadas en *El gen egoísta* y en *Sociobiología: la nueva Síntesis*, pues las mismas ayudan a echar por tierra la ya trasnochada hipótesis de la tabla rasa. Esta hipótesis es tan contra-intuitiva con respecto al comportamiento humano, que Pinker (2002) al bautizar su libro: *La tabla rasa - la negación de la naturaleza humana*, critica esta hipótesis-mito en medio de un debate naturaleza vs educación. Pero, ¿por qué los sectores de izquierda se aferran soteradamente a la hipótesis-mito de la tabla rasa? Porque si se quisiera construir un modelo de sociedad extremadamente igualitaria nada mejor que llegásemos al mundo en ceros. En cambio, si llegamos al mundo con diferencias, como en realidad pasa, la construcción de un modelo extremadamente igualitario se complica. Sin embargo, se vuelve a advertir que el hecho de que se acepten ciertas diferencias innatas no justifica los juicios de valor que terminan en abominables ismos como racismo, sexismo, clasismo, etc.

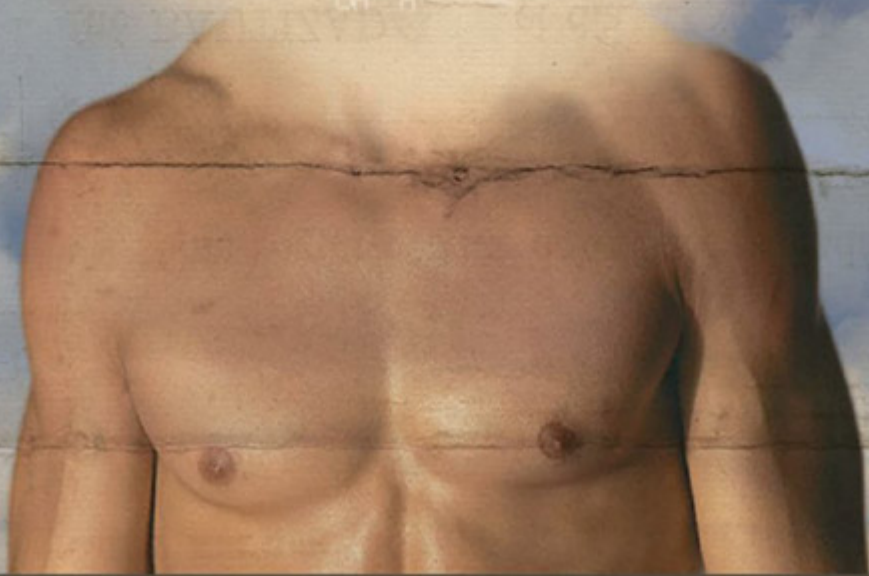
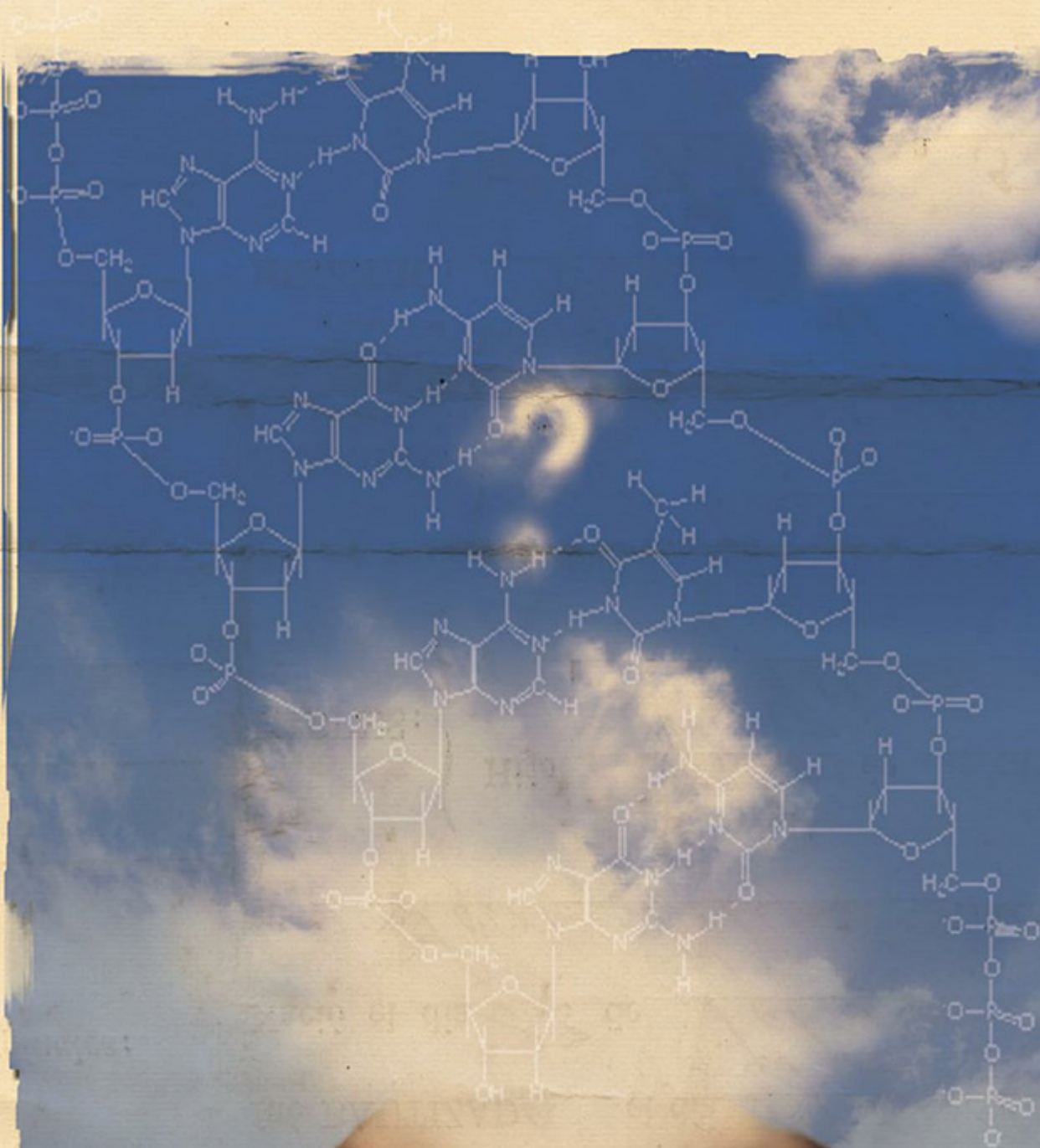
El estudio del comportamiento animal es placentero por sí mismo. Pero además nos permite ver partes de nosotros reflejados en otros animales y así aprender más sobre nuestro comportamiento. Este conocimiento se verá aumentado si se le permite a las ciencias del comportamiento animal tender puentes entre la biología y las ciencias sociales (Eisner & Wilson, 1975).

...desde inicios del siglo XIX se ha asumido que las ciencias naturales, por un lado, y las ciencias sociales y humanidades, por el otro son epistemológicamente distintas, requiriendo diferentes vocabularios, modos de análisis y reglas de validación. Esta línea divisoria todavía fragmenta más el paisaje intelectual...

Referencias

- Alcock, J. (1998), *Animal Behavior: An Evolutionary Approach*, Sunderland (MA)-USA, Sinauer Associates Inc.
- Camus, A. (1942), *Le Mythe de Sysyphe (El Mito de Sísifo)*, Gallimard.
- Darwin, C. (1872), *The Expression of the Emotions in Man and Animals*, John Murray, Oxford University.
- Dawkins, R. (1993), *El Gen Egoísta*, Barcelona-España, Salvat Editores S.A.
- Eisner, T.; Wilson, E.O. (1975), *Animal Behavior: Readings from Scientific American*, San Francisco (CA)-USA, WH Freeman and Company.
- Huxley, J.S. (1942), *Evolution: The Modern Synthesis*, London-England, Allen & Unwin.
- Lewontin, R.C.; Rose, S.P.R.; Kamin, L.J. (1984), *Not in our Genes: Biology, Ideology, and Human Nature*, Pantheon Books, University of Michigan.
- Lorenz, K. (1958), *The Evolution of Behavior*, en Eisner, T.; Wilson, E.O. (eds.), *Animal Behavior: Readings from Scientific American*, San Francisco (CA)-USA, WH Freeman and Company.
- Lorenz, K. (1963), *On Agresion*, Routledge-USA.
- Piller, M.; Bole, C. (1990), "The Best of Both Worlds, Part I", in Roddenberry, G.; Berman, R. (eds.), *Star Trek: The Next Generation*, Hollywood (CA)-USA: Paramount Pictures.
- Pinker, S. (2002), *The Blank Slate: The Modern Denial of Human Nature*, Viking Penguin Putnam.
- Wilson, E.O. (1971), *The Insect Societies*, Cambridge (MA)-USA, Harvard University Press.
- Wilson, E.O. (1975), *Sociobiology: The New Synthesis*, Cambridge (MA)-USA, Harvard University Press.
- Wilson, E.O. (1984), *Biophilia*, Cambridge (MA)-USA, Harvard University Press.
- Wilson, E.O. (2000), *Sociobiology: The New Synthesis*, Cambridge (MA)-USA, Harvard University Press.
- Wilson, E.O. (2004), *On Human Nature*, Cambridge (MA)-USA, Harvard University Press.





La partícula de Higgs: ¿una buena explicación de la masa o sólo elegancia matemática?

DIEGO CANO MÉNDEZ
INGENIERO FÍSICO
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE MANIZALES

qmechanics_86uk@hotmail.com

LUCERO ÁLVAREZ MIÑO
MSc. EN CIENCIAS-FÍSICA
PROFESORA ASOCIADA
DEPARTAMENTO DE FÍSICA Y QUÍMICA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE MANIZALES

lalvarezm@unal.edu.co

Resumen

Del descubrimiento del llamado bosón de Higgs, con los experimentos que actualmente se están llevando a cabo en la frontera franco-suiza, depende el destino de una teoría que, si bien por un lado se ha validado por predicciones correctas, también presenta vacíos y deficiencias. Es la teoría estándar de las partículas elementales. En este artículo se presenta, de la manera más didáctica posible, el papel del bosón de Higgs y el porqué de su desesperada búsqueda.

Introducción

Desde hace varios años se viene hablando de la, así llamada, partícula divina o bosón de Higgs y de las implicaciones que el descubrimiento de ésta puede traerle al mundo de las ciencias. Esta partícula puede significar mucho más que una simple ficha para completar un rompecabezas -sin resolver de los físicos teóricos, en su esfuerzo por explicar el universo.

En 2008 entró en funcionamiento el Gran Colisionador de Hadrones (LHC por sus siglas en inglés) en el CERN (Centro Europeo para la Investigación Nuclear), que es un acelerador de partículas situado en la frontera franco-suiza. Las voces, tanto de apoyo como de protesta, no se hicieron esperar. Entre ellas había la que objetaba el funcionamiento del LHC por sus altos costos pues, siendo un acelerador de partículas gigantesco compuesto de túneles subterráneos que forman un anillo de 27 km de radio, su sola construcción (alrededor de 3 mil millones de euros - CERN, 2008) ya lo ubicaba como el experimento más costoso en la historia de la humanidad.

Los aceleradores de partículas funcionan bajo el principio de que la masa tiene un equivalente en energía y viceversa, relación que viene dada por la famosa expresión matemática $E=mc^2$, donde m es la masa en reposo de la partícula y c la velocidad de la luz en el vacío. Según esta ecuación, si dos o más partículas chocan, a una determinada velocidad y con una cierta cantidad de energía de movimiento así generada, se pueden producir más partículas que las iniciales con una energía de movimiento más baja, como una especie de reacción química. Como las energías de las partículas que se hacen interactuar en el Gran Colisionador son altísimas, es posible que generen también agujeros negros. Esta posibilidad ha provocado especulaciones de algunos detractores, al punto de considerar que el experimento podría destruir la Tierra. Sin embargo, según los expertos del CERN, a pesar de que el LHC opera con altas energías, no es suficiente como para generar un monstruo de dimensiones tales que “ingiriera” la tierra con toda su masa.

Entre los diversos experimentos que se están llevando a cabo en el LHC en forma continua desde finales del 2009, luego de un cierre de un año, se destaca el experimento para hallar el bosón de Higgs, lo cual validaría la teoría que propuso la existencia de dicha partícula.

Este artículo comienza presentando las partículas elementales, su naturaleza y su forma de relacionarse bajo la acción de las interacciones fundamentales. Luego, siguiendo el curso histórico, se presenta la teoría conocida como modelo estándar y el problema que conlleva el hecho de que una partícula posea masa. Se sigue con una descripción del funcionamiento del bosón de Higgs y el campo que éste crea y su relación con la masa de las partículas. Por último, se indica dónde se está llevando a cabo la búsqueda del bosón de Higgs.

Partículas elementales e interacciones fundamentales

Como criatura curiosa, el ser humano siempre ha indagado sobre la composición de todo lo que observa a su alrededor y cómo funciona la naturaleza. La primera vez que en occidente se habló del átomo como componente fundamental de la materia fue en los tiempos de los antiguos griegos, idea propuesta por Demócrito, Leucipo y Epicuro. De hecho, la palabra átomo viene del griego *Atomum* que quiere decir sin partes, pero sólo fue hasta el siglo XIX que se demostró la existencia del mismo. El átomo se ha modelado de diversas formas, desde esferas sólidas hasta el modelo planetario, según el cual, partículas cargadas negativamente, los electrones, orbitan alrededor de un núcleo pesado de neutrones y protones, los primeros sin carga eléctrica y los segundos cargados positivamente. Este modelo, conocido como modelo de Rutherford, conllevó a que el átomo no se considerara más una partícula elemental (Eisberg, Robert, 1983). Más tarde, en 1947 el físico japonés Hideki Yukawa propuso que los protones y neutrones debían estar unidos formando el núcleo atómico, gracias a una partícula que media la interacción entre ellos y llamó a esta partícula el mesón pi. Dicha partícula fue descubierta unos años más tarde, después del muon, en los rayos cósmicos. Estos descubrimientos dieron pie a una búsqueda de partículas elementales que traería como resultado el hallazgo de cientos de ellas y sus consecuentes interrogantes: ¿Cómo se relacionan entre sí?, ¿de qué manera interactúan?, ¿cómo se podrían clasificar?, ¿son verdaderamente elementales?

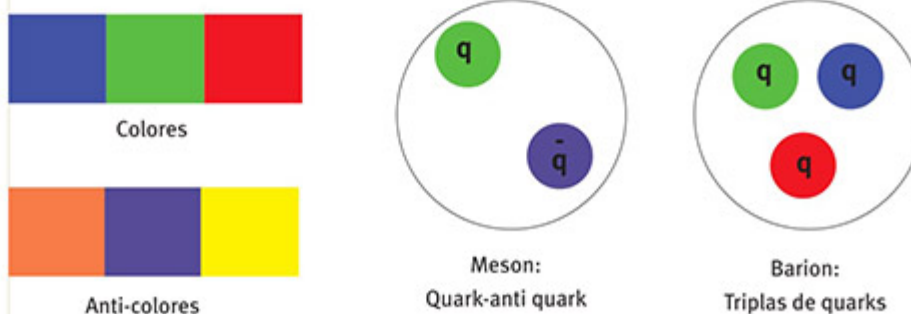
Primero que todo, una partícula elemental se puede entender como aquella que no puede ser dividida en otras más simples, de manera similar a como alguna vez se creyó que eran los átomos. Actualmente, las partículas elementales se clasifican según su masa en dos grupos de partículas masivas, leptones y quarks, más un tercer grupo de bosones de masa cero (CERN, 2008). (Por otro lado, las partículas elementales también se clasifican según si pueden “juntarse” o “aproximarse” sin restricciones en bosones, y si, por el contrario, no pueden hacerlo, entonces se llaman fermiones). La clasificación de las partículas según su masa es:

1. **Partículas de masa cero:** el fotón, el gluón y el hipotético gravitón. Estas partículas son bosones. Se encargan de mediar, en su orden, la interacción electromagnética, la fuerte (que mantiene, por ejemplo, el núcleo atómico unido) y la gravitacional.
2. **Partículas de masa ligera o leptones:** a este grupo pertenecen los electrones, muones, taones y sus respectivos neutrinos. Estas partículas interactúan débil y electromagnéticamente (interacción electro-débil).
3. **Quarks:** grupo compuesto por partículas con extraños nombres en inglés como *Up*, *Down*, *Charm*, *Strange*, *Bottom* y *Top*. La interacción entre ellos es fuerte.

Es conocido que, además de su masa, las partículas se pueden caracterizar por otras propiedades como la carga eléctrica (o su ausencia como en el caso del neutrón). Los quarks poseen adicionalmente otro tipo de carga llamada color y es la que determina la interacción fuerte entre los quarks. Por eso no es raro que la física de la interacción fuerte se llame cromo-dinámica cuántica. Cada quark puede tomar un color entre rojo, verde y azul (los cuales al mezclarse forman blanco), pero también pueden tomar anti-colores (amarillo, naranja, violeta). En cualquier caso, la combinación debe ser tal que el color neto

Fig. 1

Colores de los quarks y formación de los hadrones (Martínez, 1982).



de la partícula resultante sea nulo (blanco). Entonces existen dos posibilidades: las triplas de quarks que forman los llamados bariones y las duplas de un quark y un antiquark que forman los mesones (Quigg, 2008). Los bariones y mesones forman un grupo de partículas llamado hadrones, los famosos hadrones del colisionador LHC.

NOMBRE DE LA PARTÍCULA	PARTÍCULA	PARTÍCULA	MASA MeV	TIEMPO VIDA MEDIA, S
PARTÍCULAS DE MASA CERO				
FOTÓN	γ		0	ESTABLE
GLUON	G		0	ESTABLE
GRAVITÓN	<i>AÚN NO ENCONTRADA</i>		0	ESTABLE
LEPTONES				
ELECTRONES	e^-	e^+	0,511	ESTABLE
MUON	μ^-	μ^+	106	$2.2 \cdot 10^{16}$
TAUON	τ^-	τ^+	1777	$3 \cdot 10^{13}$
NEUTRINO ELECTRÓNICO	ν_e	$\bar{\nu}_e$	0	ESTABLE
NEUTRINO MUONICO	ν_μ	$\bar{\nu}_\mu$	0	ESTABLE
NEUTRINO TAUNICO	ν_τ	$\bar{\nu}_\tau$	0	ESTABLE
MESONES				
MESÓN PI POSITIVO	π^+	π^-	140	$2.6 \cdot 10^{-8}$
MESÓN PI NEUTRO	π^0		135	$0.8 \cdot 10^{-10}$
MESÓN KA POSITIVO	K^+	K^-	149	$1.2 \cdot 10^{-8}$
MESÓN KA NEUTRO	K^0	\bar{K}^0	498	$10^{-8} \cdot 10^{-10}$
MESÓN ETA	η		549	$2.4 \cdot 10^{-19}$
BARIONES				
PROTÓN	P	\bar{p}	938.2	ESTABLE
NEUTRÓN	n	\bar{n}	939.6	$0.9 \cdot 10^3$
HIPERÓN LAMBDA	Λ	$\bar{\Lambda}$	1116	$2.5 \cdot 10^{-10}$
HIPERÓN SIGMA POSITIVO	Σ^+	$\bar{\Sigma}^+$	1189	$0.8 \cdot 10^{-10}$
HIPERÓN SIGMA NEUTRO	Σ^0	$\bar{\Sigma}^0$	1192	$< 10 \cdot 10^{-1}$
HIPERÓN SIGMA NEGATIVO	Σ^-	$\bar{\Sigma}^-$	1197	$1.5 \cdot 10^{-10}$
HIPERÓN KSI NEUTRO	Ξ^0	$\bar{\Xi}^0$	1315	$3 \cdot 10^{-10}$
HIPERÓN KSI NEGATIVO	Ξ^-	$\bar{\Xi}^-$	1321	$17 \cdot 10^{-10}$
HIPERÓN OMEGA NEGATIVO	Ω^-	$\bar{\Omega}^-$	1672	$13 \cdot 10^{-10}$

Tabla 1:

Las primeras partículas "elementales" descubiertas. (Saveliev, 1984).

En la Tabla 1 se presentan las primeras partículas descubiertas, su nombre, su símbolo, su antipartícula, su masa y su tiempo de vida media en segundos (algunas partículas no son estables y tienden a decaer, a transformarse, en otras más ligeras). Las antipartículas se distinguen de sus respectivas partículas pero sólo por una propiedad que es exactamente opuesta en una y otra. Por ejemplo, el electrón

posee carga negativa mientras el positrón tiene el mismo valor de carga pero positiva. En la tabla se observa que la masa se da en unidades de energía (mega-electronvoltios MeV, millones de electronvoltios), esto debido a la ya mencionada equivalencia masa-energía ($E=mc^2$). Estas energías resultan ser claramente gigantescas, si tenemos en cuenta que la energía producida por la llama de un fósforo es de apenas unos cuantos electronvoltios y que las partículas con las que estamos tratando tienen un tamaño del orden de 10^{-18} cm.

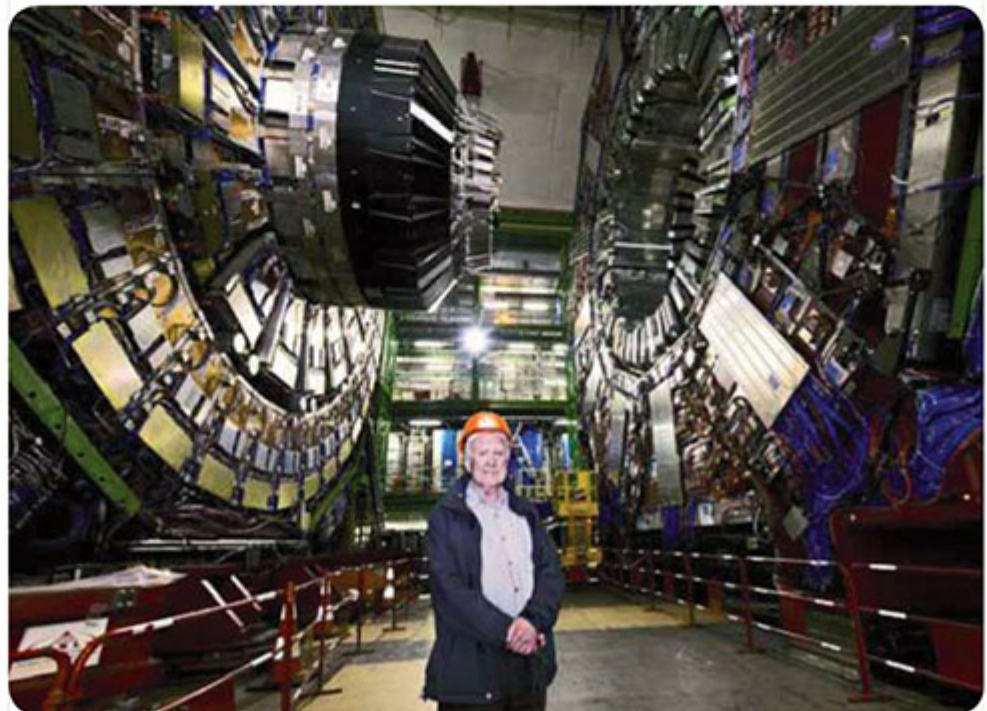
Considerando ahora el neutrón y el protón, se encuentra que son dos partículas con masa ligeramente diferente. Se puede entonces decir que no se trata de dos partículas si no de una sola en dos estados diferentes y, por tanto, en lugar de hablar del protón y del neutrón se puede hablar del nucleón. Algo similar ocurre con otras partículas como los mesones π y K y los hiperones Ξ y Σ . Así, las partículas se pueden clasificar por conjuntos. Si el conjunto tiene un solo elemento se habla de un singlete, de duplete si son 2 partículas en el conjunto, triplete si son 3, etc. Por ejemplo, existen tres mesones π que forman un triplete y que se muestran en la Tabla 1, mesón pi positivo, el negativo y el neutro. Este sistema de conjuntos (multipletes es el nombre técnico) tiene como finalidad agrupar partículas muy semejantes pero que tienen una característica que las hace diferentes, similar a como acontece con los isótopos de un átomo.

Todas las partículas interactúan entre sí, y dichas interacciones se clasifican en cuatro grupos fundamentales que ya se han mencionado antes y que a continuación se aclaran mejor (Saveliev, 1984).

Interacción fuerte. Esta interacción es la que hace posible que los quarks se unan para poder formar hadrones, como los protones y neutrones que constituyen el núcleo atómico. También es posible la formación del mesón pi, el cual es el mediador de las fuerzas entre nucleones, permitiendo la formación del núcleo atómico como tal. Esta interacción sólo la realizan las partículas formadas por quarks y es transmitida por el gluón.

Interacción electromagnética: Se manifiesta mediante todos los fenómenos eléctricos como los rayos, los imanes y la luz misma. Todas las partículas que posean carga eléctrica experimentan la interacción electromagnética, la cual es mediada por el fotón. Si comparamos la intensidad de esta interacción con la interacción fuerte, se encuentra que la electromagnética es 10^{-2} veces la intensidad de la interacción fuerte.

Interacción débil: Es la responsable de la radioactividad en ciertas sustancias. La interacción débil es, por ejemplo, la que se encarga de que tenga lugar la transición de un neutrón a un protón. Como se



mencionó antes, estas dos partículas se entienden realmente como dos posibles estados de una única partícula o nucleón. La interacción débil es mediada por los bosones Z^0 y W positivo y negativo. La interacción débil es 10^{16} veces la intensidad de la interacción fuerte.

Interacción gravitacional: es la interacción con la que estamos más familiarizados, responsable de mantener las cosas sobre el suelo y de que los planetas orbiten alrededor del Sol. Esta interacción tiene una intensidad 10^{34} veces más pequeña que la fuerte. Todas las partículas experimentan gravedad, incluso la luz, o sea, incluso los fotones (Saveliev, 1984; Martínez, 1982).

Surgimiento del modelo estándar: Tras el éxito alcanzado por la electrodinámica cuántica en los 50's, la cual toma la teoría electrodinámica de Maxwell (teoría de la luz) y la combina con la mecánica cuántica (la teoría de las partículas subatómicas) para explicar los fenómenos electromagnéticos a la escala atómica y subatómica, los físicos se dieron a la tarea de proponer una teoría de similar alcance que describiera la interacción débil. Pero se encontraron con que la electrodinámica cuántica, al igual que la teoría de Yukawa para explicar la interacción entre nucleones, requería que ciertos criterios de simetría, es decir, ciertas leyes bien establecidas de la naturaleza se cumplieran. Pero éste no era el caso de la interacción débil. Después de muchos años de discusiones, la respuesta al dilema fue el modelo estándar de partículas, el cual se basa en tres de las cuatro interacciones fundamentales, específicamente las interacciones fuerte, débil y electromagnética, y relaciona las dos últimas en una sola conocida como interacción electro-débil. Afronta, entonces, un gran desafío al lidiar con la masa. El problema radica en que mientras la interacción electromagnética es mediada por fotones sin masa, la interacción débil se transmite por partículas bastante masivas, los bosones Z^0 y W positivo y negativo. A este "desbalance" de masas se le conoce en física con el nombre de *rompimiento de simetría* (Wiggins, 2003). Otra forma de expresarlo es que, mientras exista el campo electro-débil como un todo, ninguna partícula posee masa, pero se necesita que la masa exista para poderle dar forma al universo, por lo que la interacción electro-débil debe manifestarse en dos formas diferentes. Esta dicotomía es el origen precisamente del "rompimiento" de simetría. Según un teorema de la teoría estándar, si una simetría es rota debe haber una partícula que emerge de dicha ruptura. Esta partícula, además de ser masiva, otorga masa directamente a los bosones transmisores de la interacción débil, Z^0 y W^{\pm} , y genera la posibilidad de que las demás partículas del universo también adquieran masa. Se dice que las interacciones débil y electromagnética no son dos interacciones de diferente naturaleza sino que son dos manifestaciones de una misma interacción. A dicha partícula, que surge tras el rompimiento de la simetría, se le conoce con el nombre de bosón de Higgs, en honor al físico que la propuso, el escocés Peter Higgs (Martínez, 1982; Quigg, 2007; Weinberg, 2004).

Bosón de Higgs y mecanismo de Higgs

De lo discutido en las secciones anteriores, se puede concluir que a cada uno de los cuatro tipos de fuerzas o interacciones que existen en la naturaleza (electromagnética, fuerte, débil y gravitacional) le corresponde una partícula mediadora. Así una interacción tiene lugar cuando dos o más partículas intercambian entre sí la correspondiente partícula mensajera, ya sean fotones, gluones, gravitones (cuya existencia aún no se ha comprobado) o los bosones Z^0 y W . Otra forma de interpretar la interacción es que cada partícula mediadora genera un campo. Así, el bosón de Higgs también generará un campo y, dependiendo de la interacción con este campo, las partículas adquieren su respectiva masa, desde las más masivas hasta aquellas sin masa en absoluto.

El modelo estándar ha resultado hasta el momento, a pesar de sus falencias como la no inclusión de la gravitación, una teoría relativamente exitosa pues, aunque el bosón de Higgs no se ha descubierto aún, se ha predicho con éxito los valores de ciertas masas que no habrían podido ser explicados antes, como la masa de los bosones Z^0 y W^{\pm} . Las masas de estos bosones son respectivamente 91,2 y 80,2 GeV (giga-electronvoltios, mil millones de electronvoltios) (Quigg, 2007). Por su parte, el valor teórico de la masa del bosón de Higgs está entre 63-800 GeV.

En busca del bosón de Higgs

En la actualidad existen dos laboratorios dedicados a la búsqueda del bosón de Higgs:

1. El Tevatron en Fermilab (FERMILAB), un laboratorio norteamericano localizado en las cercanías de Chicago. Éste dispone de un potente acelerador de partículas de 2 TeV (T es Tera que equivale a 1'000.000'000.000). Su más reciente descubrimiento fue el quark single-top, el cual es un quark top, pero que se caracteriza por no poseer antipartícula. Precisamente, este hallazgo fue una confirmación del modelo estándar y brinda también esperanzas de estar muy cerca del bosón de Higgs.
2. El LHC, que tiene una energía de 14 TeV. El CERN desarrolla, además, seis experimentos dirigidos a recrear el origen del universo mismo. Tiene objetivos específicos como el de crear micro agujeros negros de desintegración casi instantánea, con el fin de averiguar sobre las condiciones del universo temprano, la materia oscura, la cual ha hecho surgir muchos interrogantes en el campo de la astronomía, y la super-simetría, la cual dice que cada fermion debe tener un bosón equivalente, mucho más pesado, y viceversa.

Otra falencia del modelo estándar es que no explica clara y satisfactoriamente el origen de la masa de los cuerpos, pues el mismo bosón de Higgs ciertamente posee masa, pero no se sabe claramente de donde la obtuvo. Es por eso que los resultados de los experimentos arriba mencionados resultan cruciales para la validación o no de la teoría estándar y de la misma existencia de su partícula estrella, el escurridizo bosón de Higgs.

Referencias

CERN-Brochure-2008-001, *Communication Group*, enero 2008. Consultar también la página <http://public.web.cern.ch/public/>

Eisberg, Robert. (1983), *Física Cuántica*, México, Ed. Limusa.

FERMILAB: <http://www.fnal.gov/>

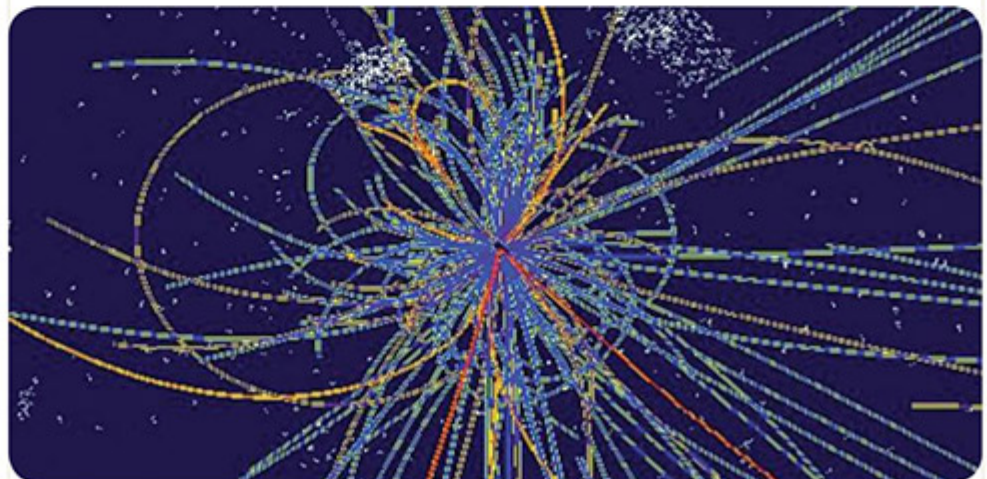
Martínez. R. (1982, July/august), *Simetrías en interacciones en física*. Sacado de: <http://www.ejournal.unam.mx/cns/n002/CNS0202.pdf>

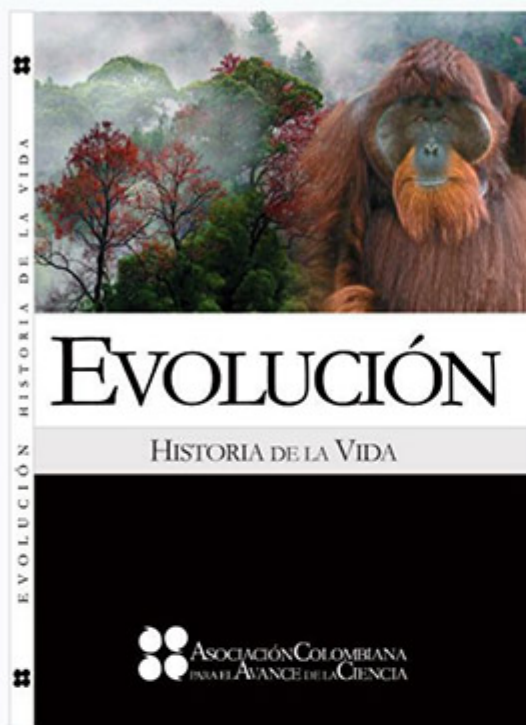
Quigg. C. (2007, may 28). *Spontaneous symmetry breaking as basis of particle mass*. Sacado de: <http://arxiv.org/abs/0704.2232v2>

Saveliev. I. V. (1984), *Curso de física general* (vol. 3), Moscú: Mir

Weinberg. S. (2004, January 3), *The making of the standard model* sacado de: http://arxiv.org/PS_cache/hep-ph/pdf/0401/0401010v1.pdf

Wiggins. A. & Wynn. C.M. (2003), *The five biggest unsolved problems in Science*, USA, Wiley Editors.





CULTURA CIENTÍFICA: FACTOR DE SUPERVIVENCIA NACIONAL - José Luis Villaveces
 LA EPISTEMOLOGÍA Y LA HISTORIA EN LA PEDAGOGÍA DE LAS CIENCIAS NATURALES - Germán Cubillos Alonso
 LA ADQUISICIÓN DE CONOCIMIENTO CIENTÍFICO - Juan Ignacio Pozo
 EL MUNDO NO ES COMO LO PINTAN - Beatriz Helena Robledo
 LA COMPRENSIÓN Y LA EXPLICACIÓN - V CONGRESO NACIONAL SOBRE LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA - Dino De Jesús Segura Robayo
 HISTORIA DE LA ELECTROSTÁTICA
 RECONTEXTUALIZACIÓN DE SABERES EN LA ENSEÑANZA - Edwin Germán García
 EL APRENDIZAJE DE LAS CIENCIAS COMO EXPERIENCIA INVESTIGATIVA - Hugo Cerda Gutiérrez
 LA ACAC EN EL DESARROLLO DE LA CONCIENCIA CIENTÍFICA COLOMBIANA - Teresa León Pereira

LA EVOLUCIÓN COMO PROCESO CREADOR - Francisco J. Ayala
 LA ADAPTACIÓN BIOLÓGICA. ALGUNAS TESIS DE COMPRENSIÓN - Germán Amat García y Orlando Vargas Ríos
 ESPECIE: ¿ES O SON? - Fernando Fernández, Julio Mario Hoyos y Daniel Rafael Miranda Esquivel
 LOS VIRUS DE ARN COMO MODELOS PARA EL ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN EXPERIMENTAL - Andrés Moya y José Manuel Cuevas
 FILOGENIA GENÓMICA EN MOSAICO EN BACTERIAS FIJADORAS DE NITRÓGENO - Daniel Piñero Dalmau
 FILOGENIA, FORMA Y FUNCIÓN - Susana E. Freire y Liliana Katinas
 MORFOLOGÍA, MOLÉCULAS Y LA HISTORIA DE LA VIDA DE ORTODOXIAS Y HEREJÍAS - Jorge V. Crisci y Juan J. Morrone

Valor: 25.000 c/u
 20% de descuento
 para nuestros asociados

INFORMES

Tel: 315 0734

E-mail. innovacionyciencia@acac.org.co
divulgacion@acac.org.co

Síntesis orgánica

ZANAHORIAS Y OTRAS HORTALIZAS QUE REVOLUCIONAN LA SÍNTESIS EN QUÍMICA ORGÁNICA

DIEGO ALEXANDER GAMBA SÁNCHEZ

QUÍMICO, UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
M.Sc (BIOMOLÉCULAS Y SÍNTESIS ORGÁNICA)
UNIVERSITÉ DE POITIERS
PH.D., ECOLE POLYTECHNIQUE, PALAISEAU-FRANCIA
CARGO ACTUAL: POST-DOCTORAL ASSOCIATE
(TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN-ALEMANIA)

diego.agamba@gmail.com

Resumen

La síntesis asimétrica es una de las más importantes áreas de investigación en química orgánica en el mundo. Hoy, además del mejoramiento de las técnicas conocidas, los investigadores están desarrollando nuevas metodologías para obtener compuestos ópticamente puros; particularmente, la utilización de zanahorias y otras plantas de muy fácil acceso representan la novedad más importante. Después de introducir y familiarizar al lector con los términos necesarios para la comprensión de la información presentada, se hace un corto resumen de los principales resultados que han sido obtenidos en esta, sin pretender, ser exhaustivos ni analizar en detalle la técnica.

En ediciones anteriores (No. 2-2006 y No.1-2008) he tratado de dar a conocer algunas de las nuevas técnicas usadas en síntesis química que tienen por objeto la disminución de desechos tóxicos para el ambiente; dichas técnicas, gracias a su fácil implementación, manipulación y bajos costos, abren las puertas de nuevos tópicos de investigación en Colombia.

Continuando con esta política, en este manuscrito pretendo dar a conocer uno de los más recientes avances en química orgánica que está siendo utilizado para la obtención de compuestos orgánicos con gran pureza óptica a un costo mínimo y con materiales que podemos encontrar en cualquier supermercado.

Si bien el lector especializado encontrará la primera parte algo sosa y sin mayor novedad, es necesario introducir al lector no especializado en algunos conceptos de vital importancia para la comprensión de la información que aquí se presenta.

Comencemos entonces con algo de historia....

Lo que los químicos del siglo XVII sabían acerca de las sustancias orgánicas conocidas hasta entonces era muy poco y para la época los conceptos de molécula y/o estructura eran inexistentes.

De hecho, se pensaba que para producir las sustancias que estaban en los seres vivos o emanaban de ellos era necesaria la llamada "fuerza vital", es decir, algo que solo poseían los organismos vivos y que hacía imposible la síntesis de esos compuestos en un laboratorio. Generalmente se atribuye a Louis Pasteur, químico y físico francés que vivió entre 1822 y 1895, el descubrimiento más importante en el área de estereoquímica, sin embargo, la historia es algo más compleja y comienza en el siglo XVII con el descubrimiento de la luz polarizada por parte del astrónomo, físico y matemático holandés Christian Huygens (1629-1695). La luz ordinaria "vibra" en diferentes planos, sin embargo, cuando esta se filtra un solo plano de luz polarizada puede ser obtenido (fig 1.)

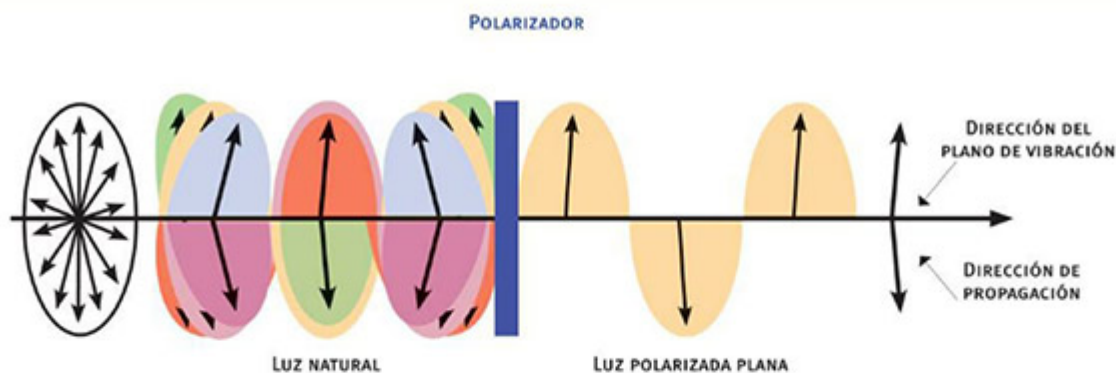


Figura 1

Luz Polarizada, tomada de <http://edafo- logia.ugr.es/optmine/intro/ luz.htm>

En 1769, el químico farmacéutico sueco Carl Wilhelm Scheel (1742-1786) descubre el ácido tartárico en el depósito (residuo) de los barriles donde se fermenta el jugo de uvas.

En 1815, el físico, astrónomo y matemático francés Jean-Baptiste Biot (1774-1862) nota que al hacer pasar luz polarizada a través de ciertas sustancias orgánicas (líquidas o en solución) estas rotan el plano de la luz, y se descubre lo que hoy se conoce como actividad óptica (fig 2).

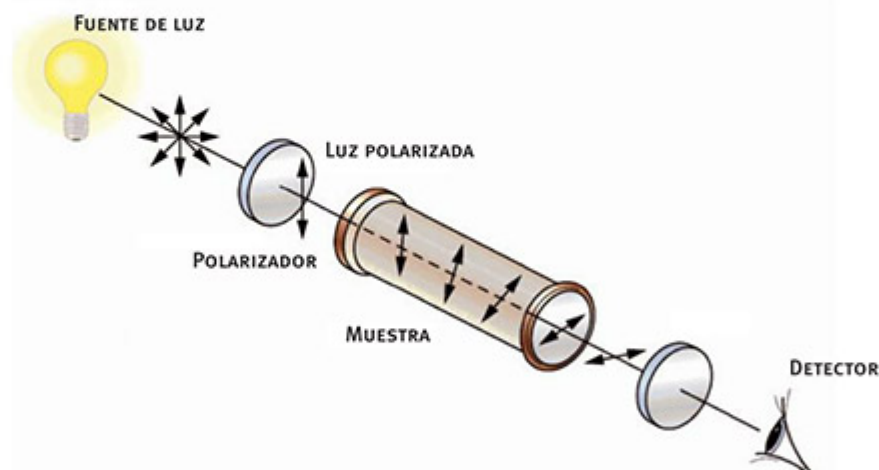


Figura 2.

Polarímetro, tomada de <http://www.altillo.com/exámenes/uba/farmacíaybio- quim/física/física2006tppola- rímetría.asp>

En este momento existen entonces tres nuevos conceptos que son:

Actividad óptica: La capacidad que tienen ciertas sustancias orgánicas para rotar el plano de la luz polarizada.

Levorotatorio (levógiro): Todo compuesto con la capacidad de hacer rotar la luz polarizada hacia el lado izquierdo, es decir, en el sentido contrario a las manecillas del reloj.

Dextrorotario (dextrógiro): Compuesto con la capacidad de rotar el plano de la luz polarizada hacia el lado derecho en el sentido de las manecillas del reloj.

Continuando con los descubrimientos que llevaron al establecimiento de los conceptos que nos interesan, en 1819 un fabricante francés de ácido tartárico llamado Paul Kestner descubrió una nueva sustancia que identificó erróneamente como ácido oxálico; años más tarde se establece que esta sustancia tiene la misma composición del ácido tartárico y en 1828 Joseph Louis Gay-Lussac le da el nombre de ácido tartárico racémico como lo conocemos hoy en día. .

En 1832, Biot nota que el ácido tartárico proveniente de la fermentación del jugo de uvas tiene la capacidad de rotar el plano de la luz polarizada a la derecha, que es dextrógiro.

El mismo Biot, en 1838, descubre que al hacer pasar luz polarizada a través del ácido racémico, descubierto en 1819, éste no tiene la capacidad de hacer rotar el plano de la luz.

Resumiendo nuevamente: se conoce la capacidad de algunas sustancias para hacer rotar el plano de la luz polarizada, sin embargo, existen algunos compuestos que a pesar de ser idénticos en todos los aspectos químicos y físicos no tienen esta propiedad.

Fue hasta 1847 que Louis Pasteur cristalizó sales mixtas de sodio y amonio del ácido tartárico racémico y obtuvo dos tipos de cristales. Cual imágenes especulares de los otros, estos cristales fueron separados manualmente y al medir la rotación óptica de estas sustancias se encontró que soluciones de la misma concentración de estas sales desvían la luz en igual magnitud pero en sentido opuesto (fig 3).

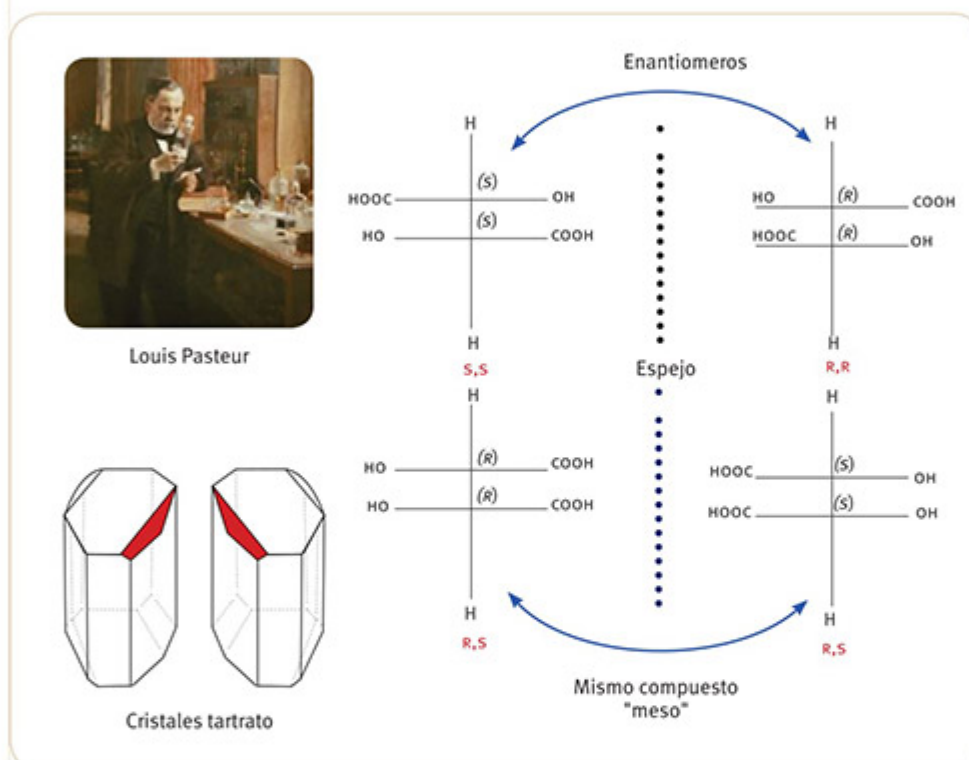


Figura 3.
Ácidos tartáricos, Pasteur.

Además, mezclas de cantidades iguales de las dos sales no producen rotación en el plano de la luz.

En 1854 Pasteur cristaliza ácido tartárico "meso" pero no puede separar cristales (todos son iguales); un año después descubre que ciertas plantas metabolizan ácido (+)-tartárico pero no ácido (-)-tartárico.

Todas estas observaciones tenían grandes consecuencias para los químicos de la época, pero aún no era posible comprender completamente estos fenómenos.

Solo en 1874, cuando los químicos Joseph Achille Le Bel (1847-1930) y Jacobus Henricus van't Hoff (1852-1911) proponen que el átomo de carbono tiene la capacidad de formar 4 enlaces y que los átomos unidos a él estarán entonces en los vértices de un tetraedro, se establece el concepto de enantiómero. De acuerdo con los postulados de Van't Hoff y Le Bel, todas las moléculas que tengan un átomo de carbono con 4 sustituyentes distintos van a existir en forma de un par de isómeros; siendo uno la imagen especular del otro, estos dos isómeros se denominan enantiómeros.

Así pues, si reunimos estas propuestas y las observaciones hechas por Pasteur y sus predecesores tenemos:

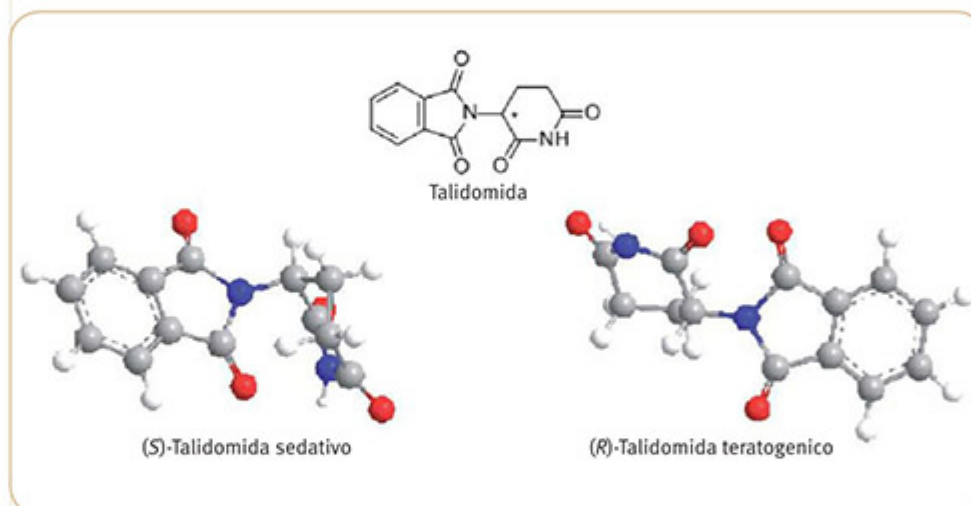
El ácido tartárico racémico no puede desviar el plano de la luz polarizada porque es una mezcla de cantidades iguales de dos enantiómeros. Con esto también puede explicarse (fig. 3) porqué el ácido tartárico "meso" no desvía la luz polarizada: simplemente porque una parte de la molécula es imagen especular de la otra parte, es decir, la molécula es simétrica.

Hasta aquí llega entonces la revisión histórica del concepto de enantiómero y del descubrimiento de la actividad óptica en moléculas orgánicas.

Antes de continuar y entrar completamente en la descripción de la nueva técnica en síntesis asimétrica que pretendo mostrar en este manuscrito es necesario recordar algo sucedido en la década de los 60s y que constituye el ejemplo clásico de la importancia de la pureza óptica en compuestos orgánicos de interés biológico.

La talidomida fue sintetizada en Alemania del este en 1953 y comercializada desde 1957; en la década de los 60s se vendió en más de 40 países y se utilizó para calmar algunas molestias propias de las primeras semanas de embarazo. Sin embargo, se descubrió que poseía efectos teratogénicos (causaba malformaciones al feto) y fue retirada relativamente rápido del mercado. Investigando en detalle se descubrió que uno de los dos enantiómeros de la talidomida (que era comercializada en forma racémica) era el causante de las malformaciones y el otro era el compuesto activo como sedante (fig 4).

Figura 4.
Talidomidias.



Este es solo un ejemplo de cómo dentro de un organismo vivo los dos enantiómeros no tienen el mismo comportamiento y uno de los dos puede causar un efecto nefasto para la salud humana. Por tal motivo, hoy es necesario tener un compuesto de gran pureza óptica antes de someterlo a pruebas clínicas.

Los conceptos importantes en este punto son:

Mezcla racémica: mezcla de cantidades iguales de dos enantiómeros.

Compuesto Meso: es aquel que a pesar de tener átomos de carbono asimétricos no posee actividad óptica, es decir, tiene un plano de simetría, lo que significa que su imagen especular es el mismo compuesto.

Pureza óptica: se mide en lo que se conoce como exceso enantiomérico (generalmente expresado en porcentaje) y es una medida de qué tan puro está un enantiómero. Un exceso enantiomérico del 100% implica que sólo se tiene un enantiómero presente. Para calcular el exceso enantiomérico es necesario medir la rotación específica tanto del producto como del enantiómero puro (ecuación 1). En la práctica, la mayoría de las veces no es posible, por esta razón se puede calcular también usando la ecuación 2, donde A y B son las cantidades medidas de los enantiómeros A y B respectivamente, así entonces, una mezcla de 80% de un enantiómero y 20% del otro tendrá un exceso enantiomérico de 60%, es decir, la mezcla está constituida de 60% del enantiómero puro y 40% de mezcla racémica.

$$e.e = ([\alpha]_{\text{producto}} / [\alpha]_{\text{s.puro}}) \times 100 \quad \text{ec.1}$$

$$e.e.a = (A-B/A+B) \text{ producto} / \times 100 \quad \text{ec.2}$$

Síntesis asimétrica: es el proceso mediante el cual a partir de compuestos racémicos o simétricos se obtienen otros con actividad óptica; normalmente, para inducir dicha quiralidad o asimetría se usan fuentes externas como catalizadores quirales o enzimas.

Bio-catálisis: casi en la totalidad de los casos se refiere a la catálisis enzimática, aunque también son casos de bio-catálisis la catálisis con microorganismos (hongos o levaduras) y la catálisis con algas.

El descubrimiento, estudio, optimización y comprensión de nuevas reacciones químicas que permitan la obtención de compuestos ópticamente puros es una de las áreas de investigación en la que más personas trabajan alrededor del mundo; hoy, todas las grandes empresas farmacéuticas están obligadas a producir compuestos ópticamente puros para de esta manera reducir costos en su producción, de lo contrario la separación es costosa y no siempre se obtienen buenos resultados. Por otra parte, en todas las universidades y centros de investigación del mundo y que incluyan al menos un laboratorio de química orgánica incluyen también un equipo de investigación en esta área, tanto es así que en 2001 el premio Nobel de química se entregó a tres investigadores por sus avances en síntesis asimétrica, dos de ellos estadounidenses: William S. Knowles, por sus trabajos pioneros en reducción asimétrica y Barry Sharpless, por su trabajo en reacciones de oxidación asimétrica, y un japonés, Ryoji Noyori, también por los avances en reacciones de hidrogenación (reducción).

Como es lógico suponer, el generar centros asimétricos en moléculas orgánicas no es tarea fácil y requiere por lo general catalizadores que incluyen moléculas orgánicas quirales y metales como el rodio, rutenio, platino, etc, es decir, son costosos y en algunos casos deben ser preparados antes de la reacción. En general lo que se busca es generar que la transformación química deseada se dé en una sola de las "caras" del sustrato (molécula que se desea transformar). Imaginemos que la molécula que deseamos hacer reaccionar es plana (p.ej. acetofenona, fig 5), de manera que si la reacción ocurre en la cara derecha (Re) se obtendrá el compuesto que se muestra a la derecha, pero si ocurre en la cara izquierda (Si) se obtendrá su enantiómero. Si obligamos, utilizando un catalizador, a que el reactivo se aproxime solamente o preferencialmente por una de las caras, entonces tendremos como resultado una mezcla desigual de enantiómeros.

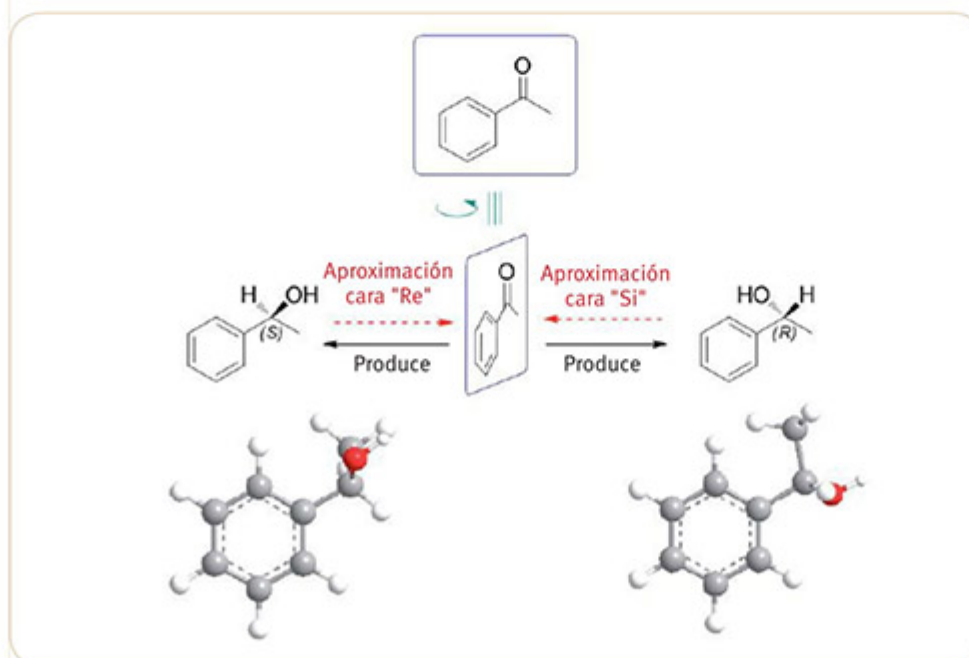


Figura 5.

Posibilidades en la aproximación del reductor.

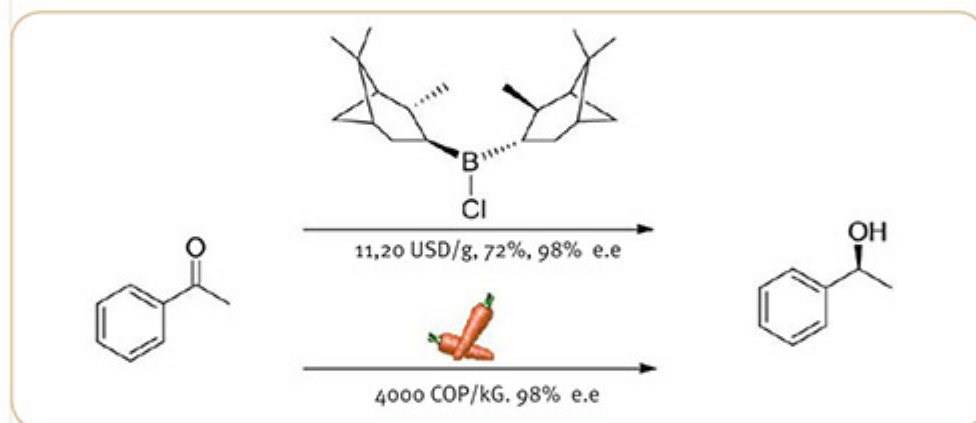
En los últimos años aparecieron la catálisis enzimática y la organocatálisis, nuevas formas de catálisis que nos permiten generar dicha asimetría en las reacciones orgánicas. Las enzimas son proteínas que tienen una estructura tridimensional definida y específica, lo que implica que en su sitio activo sólo pueden ingresar sustratos que tengan una cierta afinidad geométrica, es por esto que las transformaciones hechas con enzimas producen compuestos con una gran pureza óptica.

El principal problema que se tiene en la catálisis enzimática es la consecución de la enzima pues normalmente son costosas y no es posible recuperarlas una vez terminada la reacción; se han implementado nuevas técnicas como el uso de soportes sólidos para las enzimas, facilitando así su manipulación y recuperación, y aunque hoy en día sigue siendo un área en pleno desarrollo, considero que todavía faltan algunos años y esfuerzo por parte de los investigadores para que llegue a ser una práctica común en cualquier laboratorio de química orgánica, ya sea industrial o académico. Es por esto que algunos investigadores están centrando sus esfuerzos en realizar dichas reacciones sin que sea necesario extraer o purificar las enzimas. Así, hoy se conocen reacciones hechas con apio, arracacha o zanahorias.

Aunque suene increíble no lo es. En la figura 6 se muestra un ejemplo sencillo (reducción de la acetofenona) en el que se comparan los resultados obtenidos para una misma reacción utilizando dos métodos distintos, uno de ellos hace parte de los que conocemos como "clásicos", en el cual utilizamos un catalizador de boro (usando uno de los reactivos más económicos que existe), y el segundo es el que hemos presentado aquí utilizando zanahorias.

Figura 6.

Reducción de acetofenona.



Como se puede observar, en términos de rendimiento los resultados son absolutamente comparables y en términos de pureza óptica los mejores resultados se obtuvieron utilizando zanahorias. Debo aclarar que éste es sólo un ejemplo y que no en todos los casos los resultados son excelentes, pero si son, por lo general, bastante buenos, siempre comparables en términos de pureza óptica, y si se tiene en cuenta el costo de los catalizadores, siempre se obtendrán ventajas económicas a pesar de no obtener en algunos casos excelentes rendimientos.

La gran ventaja que se tiene es el precio del reactivo clave: mientras un gramo de ligando (BINAP) para fabricar un catalizador cuesta cerca de 170 dólares y un gramo del reactivo mostrado en la figura 6 cuesta cerca de 11 dólares, un kilo de zanahorias cuesta cerca de 4000 pesos (menos de 3 dólares). Además, estas reacciones se efectúan en agua, lo que disminuye enormemente la producción de residuos nocivos para el ambiente.

Un procedimiento típico consiste en hacer agitar una solución acuosa o alcohólica del compuesto a reducir y adicionar a la solución algunos trozos o virutas de zanahorias, sin embargo, para evitar que la agitación destruya las zanahorias y produzca una mezcla difícil de filtrar, algunos investigadores han creado su propio sistema de agitación que incrementa la efectividad del proceso (fig 7). Esto es sólo algo adicional y no es necesario para realizar estas transformaciones en un laboratorio ya sea de docencia o investigación, pero su implementación no representa una dificultad sino una ventaja, aún más, podemos todavía imaginar otras maneras de llevar a cabo estas reacciones con mayor eficiencia y en menor tiempo.

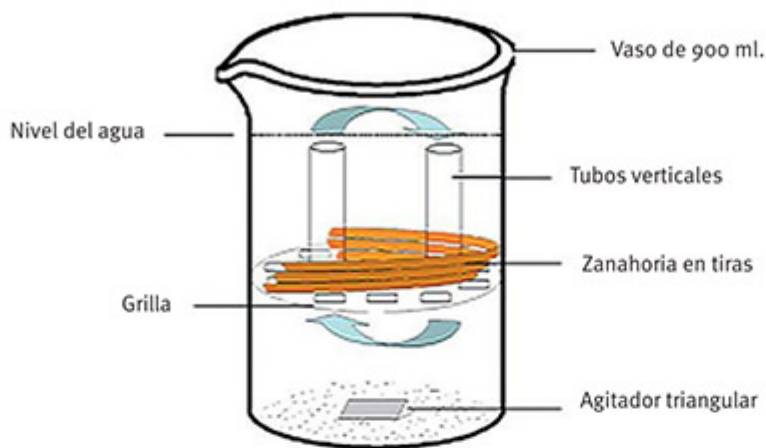


Figura 7.

Montaje para reducciones usando zanahorias.

Los tubos que se introducen en el vaso sirven para crear un vórtice y de esta manera la solución pasa entre las virutas de zanahoria sin que éstas estén en contacto con el agitador de forma que no se destruyen aumentando así la efectividad del proceso.

Esta técnica tiene dos grandes inconvenientes: la primera tiene que ver con el hecho de que aún no es posible utilizarla en un estado avanzado de una síntesis por etapas, dado que en la mezcla de reacción se encuentran presentes, además de la enzima que va a efectuar la reducción, otras enzimas que pueden causar reacciones secundarias, de ahí que solamente sea posible utilizarla en una etapa temprana de la síntesis en la que la molécula a transformar no tenga funciones sensibles a estas otras enzimas. El segundo inconveniente tiene que ver con que sólo es posible obtener uno de los dos enantiómeros, lo que limita su uso o implica realizar transformaciones adicionales para obtener el compuesto deseado, es decir, que el uso de catalizadores permite obtener los dos enantiómeros cambiando sólo la configuración absoluta del catalizador, pero en el caso de las enzimas y de las plantas, sólo uno de los enantiómeros es obtenido. Si el compuesto de interés (objetivo) es el enantiómero opuesto, es necesario hacer algunas reacciones adicionales para cambiar la configuración del compuesto obtenido anteriormente, sin embargo, se cuenta con modelos explicativos bastante precisos para este tipo de reacciones, lo que permite al químico orgánico predecir el comportamiento del sistema y escoger de esta manera la técnica que debe utilizar.

En conclusión, la utilización de zanahorias y otras plantas en síntesis orgánica es un área de gran crecimiento y representa una alternativa muy importante para los investigadores en países como el nuestro donde la consecución de reactivos costosos es una limitante para el avance de las investigaciones.

Es importante anotar que, aunque hasta ahora sólo se han descrito hidrogenaciones, aún es posible encontrar nuevas actividades pues también el conocimiento de la composición enzimática de otras plantas de fácil acceso deja la puerta abierta a futuras investigaciones y a la utilización de otras plantas en otro tipo de reacciones.

Referencias

Amslinger, S.; Zeitler, K. (2008), *Asymmetric Organic Synthesis with Enzymes*, Editado por Vicente Gotor, Ignacio Alfonso, and Eduardo García-Uridiales. vol: 1, num. 12, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.

Andrade, L.H, *et al.* (2006), "Edible catalysts for clean chemical reactions: Bioreductions of aromatic ketones and biooxidations of secondary alcohols using plants", en *J. Mol. Catal. B: Enzym.*, vol. 38, pp. 84-90.

Blanchard, N.; van de Weghe, P. (2006), "*Daucus carota* L. mediated bioreductions of prochiral ketones", en *Org. Biomol. Chem.*, vol. 4, pp. 2348-2353.

Fessner, W.D.; Anthonsen, T. (2009), "Modern Biocatalysis". WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.

Gamba-Sánchez, D. (2006), "En química la nueva onda es Micro", en *Innovación & Ciencia*, vol. XII, No.2, pp. 20-27.

Gamba-Sánchez, D. (2008), "«Click Chemistry *In Situ*» y su aplicación en la búsqueda de nuevos medicamentos", en *Innovación & Ciencia*, vol. XV, No.1, pp. 14-17. http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2001/knowles-lecture.html; http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2001/noyori-lecture.html; http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/2001/sharpless-lecture.html

Kauffman, G.B.; Myers, R.D. (1998), "Pasteur's Resolution of Racemic Acid: A Sesquicentennial Retrospect and a New Translation", en *The Chemical Educator*, vol.3, No.6, pp. 1-18.

Lacheretz, R.; Gomez-Pardo, D.; Cossy, J. (2009), "*Daucus carota* mediated-reduction of cyclic 3-Oxoamines", en *Org. Lett.*, vol.11, No. 6, pp. 1245-1248.

Maczk, W.K.; Mironowicz, A. (2002), "Enantioselective hydrolysis of 1-aryl ethyl acetates and reduction of aryl methyl ketones using carrot, celeriac and horseradish enzyme systems", en *Tetrahedron Asymmetry*, vol.13, pp. 2299-2302

Mikami, K.; Lautens, M. (2007), *New frontiers in asymmetric catalysis*, Hoboken, New Jersey, John Wiley & Sons, Inc.

Reetz, M.T.; List, B.; Jaroch, S.; Weinmann, H.(2007) "Organocatalysis", *Springer Berlin, Heidelberg, New York.*



FUNDACIÓN ALEJANDRO ÁNGEL ESCOBAR

Convocatoria Premios Alejandro Ángel Escobar

La Fundación Alejandro Ángel Escobar anuncia que las inscripciones para participar en la convocatoria de los Premios de Ciencias y Solidaridad en 2011, se abrirán el 17 de enero y se cerrarán el 31 de marzo.

Las categorías son:

- Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
- Ciencias Sociales y Humanas
- Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible
- Solidaridad

Para mayor Información:

<http://www.faae.org.co>

info@faae.org.co

(57) (1) 281 8711 en Bogotá.

Convocatoria Becas Fondo Colombia Biodiversa

La Fundación Alejandro Ángel Escobar invita a los estudiantes de pregrado y maestría, que estén trabajando en tesis de grado sobre temas relacionados con conocimiento, conservación y/o uso sostenible de la biodiversidad colombiana, a participar en las convocatorias para las becas del Fondo Colombia Biodiversa.

En 2011 se abrirán dos convocatorias así:

-17 de enero hasta el 11 de marzo

-25 de julio hasta el 30 de septiembre

Para más información:

<http://www.faae.org.co/colombiabiodiversa>

colombiabiodiversa@faae.org.co

(57) (1) 281 8711 en Bogotá.

¡Los invitamos a participar y a difundir esta información!

El cultivo de células: sembrando para la investigación, el diagnóstico y el tratamiento terapéutico

MAURICIO MARTÍNEZ SALAZAR

BIÓLOGO, ESTUDIANTE DE MAESTRÍA
EN GENÉTICA HUMANA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA (BOGOTÁ).
CARGO ACTUAL: JOVEN INVESTIGADOR-COLCIENCIAS 2010,
INSTITUTO DE BIOTECNOLOGÍA (IBUN),
ÁREA DE BIOTECNOLOGÍA DE LA SALUD.
maumartinezs@unal.edu.co

Resumen

El cultivo de células animales y humanas permite obtener, mantener, expandir y criopreservar un grupo de células de interés, las cuales pueden ser empleadas en un sin número de investigaciones en el campo biológico y biomédico, además del diagnóstico de gran cantidad de patologías humanas. Esta técnica, al igual que un cultivo agrícola, requiere de un sustrato, medios de cultivo con sustancias nutritivas y condiciones físico-químicas adecuadas de pH, temperatura y oxígeno, etc., igualmente dicha técnica de cultivo de células se ha establecido como un sistema a manera de modelo biológico que permite estudios y aplicaciones en el campo de la biotecnología de la salud humana. Actualmente en el Laboratorio de Biomiméticos del Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia (IBUN) se trabaja en construir equivalentes de diferentes tejidos para tratamiento terapéutico a partir del cultivo de células animales y humanas, biomateriales y factores de crecimiento, lo cual, sin lugar a duda, es uno de los campos de investigación biomédica más promisorios hoy en día.

Introducción y antecedentes históricos

Normalmente estamos acostumbrados a escuchar y evidenciar que el ser humano ha establecido cultivos de grandes organismos como algunas plantas y animales, incluso hongos, desde tiempos prehistóricos hasta el día de hoy, y podríamos asegurar que actualmente estas fuentes de producción se crean y se mantienen de manera muy avanzada, gracias a los desarrollos en biotecnología, tanto en el campo agrícola como en la zootecnia, y es por ellos (entre muchos otros factores) que nuestra especie ha progresado de manera tan exitosa en el planeta tierra. Sin embargo, no es tan frecuente en la cotidianidad apreciar de manera tan directa el cultivo de células en laboratorio, las cuales generalmente miden unos cuantos micrómetros, incluso el cultivo de tejidos de origen vegetal, animal o humano, aunque de ellos también dependa en gran medida el buen desarrollo de la humanidad, como lo veremos más adelante.

Vale aclarar desde el principio que seguramente los avances en el desarrollo de cultivo de tejidos vegetales son altos y de una importancia socio-económica relevante, sin embargo, nos remitiremos puntualmente al cultivo de células y tejidos de origen animal¹ y humano, dadas sus implicaciones en las áreas biomédicas y los grandes avances que se han logrado a lo largo de la historia de dichos cultivos, los cuales se han constituido con amplio fundamento como un modelo biológico eficaz.

Según los registros históricos, se ha establecido que fue en el año de 1885 cuando Wilhelm Roux, quien trabajaba como asistente en el Instituto de Anatomía de Breslau (Polonia), logró mantener vivo un fragmento de embrión de pollo en solución salina durante unos pocos días, ensayo que es relativamente sencillo de hacer actualmente. Este es el primer registro que se tiene sobre este tema y el último del siglo XIX, sin embargo, a quien se considera el iniciador de los cultivos de tejidos animales es a Ross Harrison², ya que, en el año 1907, logró observaciones de crecimiento axonal (extensiones del cuerpo de neuronas), a partir de cultivo de médula espinal embrionaria de anfibios en simples láminas de vidrio (Leyva-Cobián, 1985; Freshney, 2000).

En el año de 1910, Burrows empleó el plasma de pollo como un medio de cultivo, lo que sería un equivalente al abono y/o fertilizantes que se les agregan a los cultivos de plantas, es decir, una solución líquida que promueva el crecimiento, multiplicación y desarrollo de las células de interés, y, en 1912, junto con Alexis Carrel, realizó cultivos de células animales obtenidas de perros, gatos y conejillos de indias, incluso de algunos tumores sólidos humanos (Leyva-Cobián, 1985; Freshney, 2000; Geneser, 2000).

Los eventos más significativos a lo largo del siglo XX se encuentran resumidos en la Tabla 1, en la cual se puede apreciar la evolución y el refinamiento que ha sufrido este tipo de técnicas.

1. Hablaremos específicamente del cultivo de células de origen vertebrado, pues también se pueden encontrar cultivos celulares a partir de estructuras de invertebrados marinos, por ejemplo esponjas y anémonas, e incluso también de insectos como ácaros.

2. Investigador embriólogo estadounidense quien trabajaba en la Universidad John Hopkins.

Fecha	Evento
1907	Cultivo de médula espinal embrionaria de anfibios.
1912	Explantes de tejidos de diferentes orígenes.
1920s/1930s	Subcultivo de líneas celulares tipo fibroblasto.
1940s	Implementación de antibióticos en los cultivos.
1952	Uso de la enzima proteasa tripsina.
1952 • 1955	Establecimiento de la primera línea celular HeLa, de carcinoma cervical.
1964	Pluripotencialidad de células madre embrionarias.
1964 • 1969	Vacunas de la rabia y rubiela en WI-38 fibroblastos de pulmón humano.
1970s	Desarrollo de cabinas de flujo laminar.
1980 • 1987	Establecimiento de muchas líneas celulares especializadas.
1991	Cultivo de células madre adultas mesenquimales.
1998	Ingeniería tisular de cartílago.
2000+	Proyecto Genoma Humano: genómica, proteómica, etc. Ingeniería de tejidos.

Tabla 1.

Eventos principales de la evolución del cultivo de células y tejidos (Siglo XX). Adaptado de Freshney (2000).

Es importante señalar que el cultivo de células animales y humanas ha sido la base para la investigación biológica y biomédica a lo largo del siglo en aplicaciones tan interesantes y prometedoras como la ingeniería de tejidos; esto se ve reflejado en el aumento de publicaciones a nivel científico que se han generado relativas al cultivo de células animales, pues para el año 2000 se alcanzaron 40.000 trabajos publicados según la base de datos PubMed, y actualmente este valor llega a los 250.000 registros aproximadamente.

Por definición, un cultivo de células se refiere al establecimiento, mantenimiento y multiplicación de células aisladas de uno o varios tejidos, de un cultivo primario o de una línea celular³ por mecanismos enzimáticos, mecánicos o químicos (Freshney, 2000). Estas células serán mantenidas en un medio de cultivo (Sato y Kan, 1998), que les proveerá de los nutrientes necesarios para su multiplicación (proteínas, aminoácidos, vitaminas, sales, carbohidratos, etc.), de antibióticos y antimicóticos (Coté, 1998) de amplio espectro (para evitar contaminación por bacterias u hongos), de temperatura constante de 37°C (equivalente a la temperatura corporal normal), además de una atmósfera gaseosa de 5% de CO₂ (una incubadora para cultivo celular permite estas dos últimas condiciones) (Phelan, 1998; Takashima, 1998; Harford, 2003).

En la figura 1 se presenta un esquema que resume los principales pasos para obtener y mantener las células en cultivo, las cuales duplicarán su tamaño poblacional y permitirán realizar investigaciones en ellas. Luego de esta expansión del cultivo, las células alcanzan a ocupar la totalidad de la superficie en la que están sembradas. Una imagen en microscopio convencional de fibroblastos humanos se muestra en la figura 2 en la cual se observa la morfología típica de este tipo de células. Los fibroblastos son las células relativamente más fáciles de mantener en cultivo y son empleados frecuentemente en ensayos biológicos y biomédicos.

3. Una línea celular se refiere a un tipo particular de células inmortalizadas por diferentes métodos moleculares y que son comercializadas ampliamente con fines de investigación biológica y biomédica.



Muestra de tejido en medio de transporte.



Cortes de segmentos de 2 a 3mm de la muestra.



Las células son sembradas en incubadora con las condiciones óptimas para su crecimiento y multiplicación.

Figura 1.

Esquema representando los principales pasos para la obtención y mantenimiento de un cultivo de células animales. Fotos tomadas en el Laboratorio de Biomiméticos del IBUN.



Los cortes del tejido se dejan en enzimas para liberar las células. 37°C y agitación mecánica.



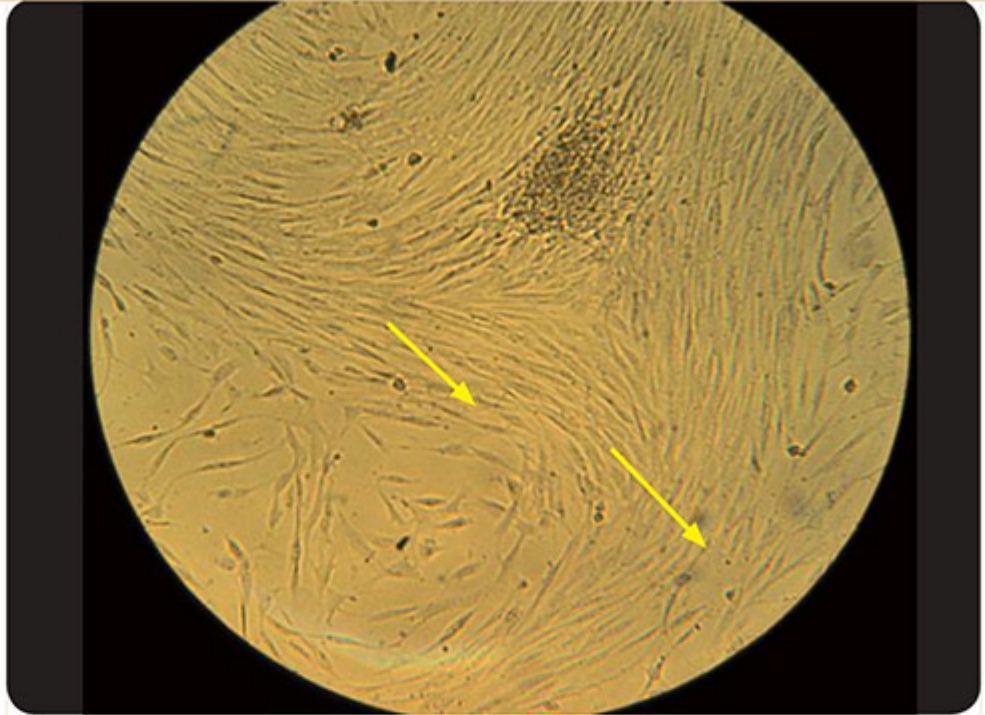
Las células que quedaron en el fondo son suspendidas en medio de cultivo.



Centrifugamos toda la solución y quitamos las enzimas.

Figura 2.

Fibroblastos humanos en cultivo tomada desde microscopio de luz convencional. Se aprecia su forma alargada (ahusada) y las prolongaciones celulares. Las flechas señalan fibroblastos individuales. Aumento 10X.

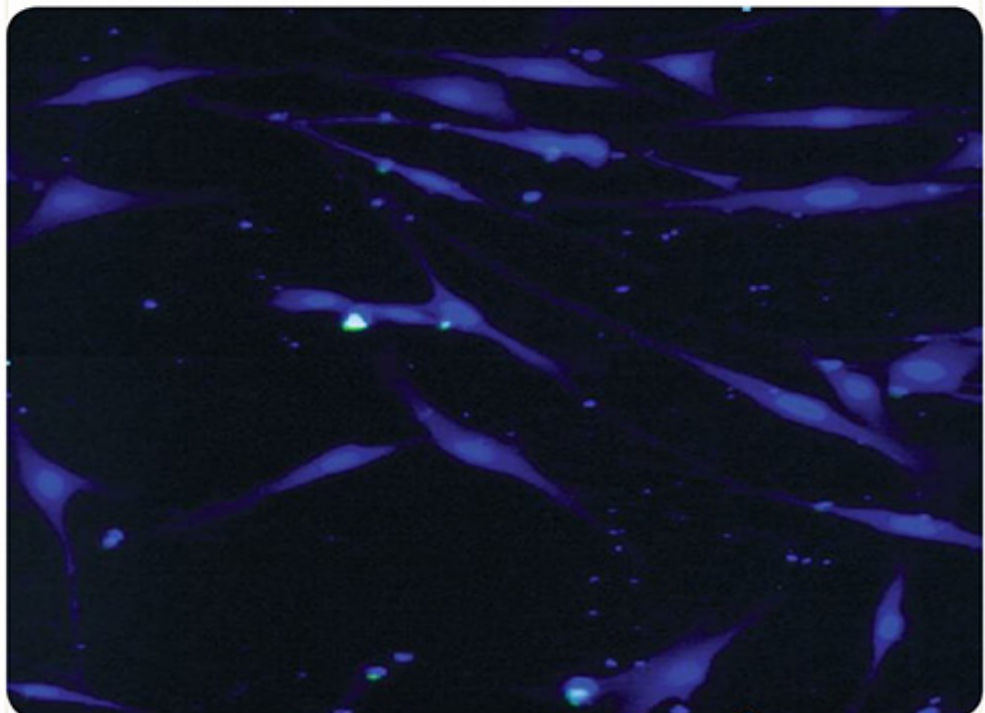


Otra perspectiva de estos mismos fibroblastos la observamos en la figura 3, los cuales han sido marcados con una sustancia que emite fluorescencia azul, llamada DAPI (Diamidino Fenil Indol). Esta sustancia se adhiere fuertemente al ADN nuclear y puede ser registrada en un microscopio de fluorescencia con un filtro apropiado.

En un recipiente grande de cultivo como el que se muestra en la imagen inferior izquierda de la figura 1 (denominada caja de cultivo T-75) se puede sembrar aproximadamente 20 millones de células de interés y, de esta manera, el investigador dispone de un sistema apropiado para sus ensayos, pues tiene la oportunidad de controlar la mayoría de las variables que lo afectan, y por esto es que se considera que el cultivo de células representa un modelo biológico efectivo.

Figura 3.

Fibroblastos humanos en cultivo tomada desde microscopio de fluorescencia, tinción con DAPI (1µg/ml). Aumento 40X.



Aplicaciones

Freshney (2000) ha establecido que la gran cantidad de aplicaciones de este modelo biológico puede ser clasificada en seis grandes grupos de procesos que pueden ser estudiados:

Actividad Intracelular. Se refiere al estudio de procesos y reacciones bioquímicas que tienen lugar al interior de las células, por ejemplo replicación y transcripción de ADN, síntesis de proteínas, metabolismo energético y metabolismo de compuestos que podrían emplearse como medicamentos;

Flujo Intracelular. Comprende los procesos llevados a cabo a través de una cascada de señales (moléculas que activan otras moléculas en un tipo de efecto dominó) desencadenados por estímulos químicos (sustancias como hormonas), mecánicos como presión, etc. y que finalmente activan respuestas en la célula como por ejemplo la expresión de genes específicos;

Interacciones con el ambiente o ecología celular. Implica estudios de nutrición celular, infección, citotoxicidad, carcinogénesis (del griego: karkinos que significa cáncer y genesis que significa nacimiento, creación), etc.;

Interacciones de célula a célula. Se refiere a las investigaciones en citomorfología, control del efecto de sustancias liberadas desde una célula o grupo de células hacia otras cercanas, curvas de proliferación celular, cooperación metabólica entre células, adhesión celular y movilidad, interacciones de células y su matriz extracelular, la cual es una sustancia secretada por las células que brinda un nicho o ambiente fisicoquímico adecuado para su óptimo desarrollo;

Genética. Es decir investigación y análisis del genoma en condiciones normales o en una patología en particular, manipulación genética (transgénesis), expresión y silenciamiento de genes específicos; y,

Obtención de equivalentes tisulares. A partir del cultivo de diferentes tipos de células se pueden lograr sistemas que intenten reproducir tejidos en laboratorio con ayuda de biomateriales y herramientas de la ingeniería de tejidos, la cual brinda grandes avances hoy en día en el campo de biotecnología de la salud.

Todas estas aplicaciones, entre otras, han ayudado enormemente a ramas de la investigación científica y médica, como el estudio de virus y la producción de vacunas antivirales, investigación en cáncer (oncología), ingeniería de proteínas, diagnóstico de enfermedades, ingeniería de tejidos, entre otras, lo cual nos deja ver la importancia de conocer y profundizar cada vez más en este tipo de técnicas que, aunque no son reconocidas en la cotidianidad, ayudan en gran medida en procesos relacionados con biotecnología de la salud humana.

Ventajas vs limitaciones

Como lo hemos apreciado en la gran cantidad de aplicaciones anteriormente descritas, son evidentes las ventajas que tiene este tipo de técnicas, sin embargo no todo es color de rosa, pues se han establecido limitaciones que deben ser tenidas en cuenta a la hora de referenciar las investigaciones que implican el manejo de cultivos celulares, no para descartarlas sino para ampliar y profundizar en la discusión de la investigación científica y biotecnológica. En la tabla 2 se establece un resumen de las principales ventajas y limitaciones en el momento de implementar el cultivo de células animales y humanas en diferentes estudios (Freshney, 2000).

Vigilada por el Ministerio de Educación Nacional.

UAN

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO



Revista NODO, indizada en C en Publindex.

La Universidad Antonio Nariño, una universidad nacional con vocación regional.

Cuenta con 47 grupos de investigación categorizados dentro del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación.

Hoy ocupa el puesto 30 en producción científica entre las universidades colombianas, según el Atlas Colombiano de Ciencia.

VCTI

Vicerrectoría de Ciencia, Tecnología e Innovación

INFORMES:
Vicerrectoría Ciencia, Tecnología e Innovación, VCTI.
Carrera 3 este No. 47 A – 15,
UAN Sede Circunvalar
Teléfono: 3384960 ext 130 – 140
Fax: 3405178
vcti@uan.edu.co • <http://csi.uan.edu.co>
Bogotá, Colombia

Tabla 2.

Resumen de las principales ventajas y limitaciones de la técnica de cultivo de células animales y humanas para investigación biológica y biomédica. Adaptado de Freshney (2000).

Ventajas	Limitaciones
Control del ambiente fisicoquímico (pH, temperatura, presión osmótica, concentración de O ₂ y CO ₂ , concentración de sustancias, etc.).	Contaminación. Debido a que se manejan medios para cultivo enriquecidos, el factor contaminante por bacterias y hongos es constante. De hallarse estos microorganismos se pierde todo el ensayo, tiempo y dinero.
Caracterización y homogeneidad de la muestra (líneas celulares). Esto refina los análisis estadísticos para la validez de los resultados científicos.	Cantidad de tejido de interés obtenido. En el caso de la obtención de equivalentes tisulares, en el cultivo de células no se llega a una cantidad de células suficiente en un corto tiempo. Para ello se utilizan bioreactores (sistemas diseñados para realizar un escalamiento incluso a nivel industrial).
Economía y escala. Muchos reactivos y técnicas son de menor costo que las realizadas <i>in vivo</i> . Además, en placas de microtécnica (diferentes pozos de poliestireno) facilita la manipulación de las células.	De diferenciación. Se ha observado que algunos fenotipos de células cultivadas cambian sus características citomorfológicas y funcionales, algunas veces de manera irreversible y esto altera los resultados de los ensayos.
Almacenamiento de la muestra. Las células pueden ser congeladas en nitrógeno líquido a una temperatura de -196°C, lo que se denomina criopreservación.	Origen de las células. Cuando las células pierden características propias del tejido original resulta más complicado inferir del comportamiento celular de dicho tejido.
Reducción en el uso de animales de experimentación (Aspecto ético). El cultivo de células es una alternativa para ensayos de citotoxicidad y respuesta tisular de productos farmacéuticos (por ejemplo en el sector cosmético).	Inestabilidad. Se ha encontrado que las células en una línea pueden presentar aneuploidía (cambios en el número normal de cromosomas), y esto altera la funcionalidad de dichas células.

A la hora de aplicar este modelo hay que tener presente que representa simplemente un modelo, un “modo”, una perspectiva, una forma de implementar e interpretar el método científico, y bajo este paradigma es que debe manejarse, pues en ningún momento pretende ni puede reemplazar en su totalidad otras investigaciones como las que se realizan en animales experimentales, sin embargo resulta una alternativa científica, económica y ética en la reducción de la implementación de dichos organismos, pues ofrecen resultados previos que pueden ser tenidos en cuenta para realizar ensayos en animales, sobre todo hoy en día que se ha generado polémica acerca de estos ensayos.

Tipos de cultivos celulares

En términos generales, existen dos formas de obtener células de interés a partir de un tejido particular: disociar las células por acción enzimática y/o mecánica, o colocando un pequeño trozo de tejido sobre una placa de cultivo (denominado cultivo por explante) y se le agrega el medio de cultivo, de tal manera que las células se irán multiplicando sobre la placa y ocuparán la totalidad del área de la misma (Freshney, 2000). Los dos tipos tienen ventajas y desventajas, y deben ser empleados dependiendo de los objetivos de la investigación.

El cultivo de células por explante permite obtener células que no han tenido contacto con agentes químicos que les podría disminuir su viabilidad, pero no siempre es fácil determinar la cantidad de células con las que se está trabajando. Cuando se obtienen por disociación enzimática hay muchas facilidades en el conteo de las células y permiten una gran cantidad de ensayos realizables, sin embargo, el empleo de estos químicos puede alterar los resultados (Phelan, 1998; Takashima, 1998; Harford, 2003).

Gracias al desarrollo que ha tenido el cultivo de células en laboratorio se ha avanzado enormemente en el conocimiento de una gran cantidad de procesos y fenómenos celulares y tisulares, lo mismo que en muchas de sus aplicaciones biotecnológicas como vacunas, antibióticos, terapia celular y genética, proteómica, genómica y transcritoómica, etc., todos y cada uno de ellos para bien de la humanidad. Saber que, así como las plantas, las células de nuestro propio cuerpo pueden ser “sembradas”, “cosecha-

das” y congeladas, nos da la posibilidad de manejar incluso bancos de células, como los que ya existen. Estas células pueden ser empleadas para el diagnóstico y posible tratamiento de múltiples patologías y desordenes celulares de tan grande impacto en salud pública como lo es el cáncer.

Perspectivas

La iniciativa de obtener, mantener y preservar células de características particulares y las grandes aplicaciones que esto concierne, despierta el interés de los investigadores para emplear esta técnica y otras en el establecimiento de equivalentes de diferentes tejidos para uso terapéutico, en los casos donde se presenta pérdida, daño físico y/o funcional de tejidos humanos que, en muchas ocasiones, no pueden ser reemplazados por trasplante, principalmente por escasez de donantes, rechazo del tejido u órgano, entre otros factores (Martínez, 2009). Estos equivalentes tisulares requieren de un manejo cuidadoso de las células y los soportes en los cuales deben ser sembradas; estos últimos son de diferentes materiales biocompatibles que garantizan la utilización en pacientes y que congregan a ingenieros y otros profesionales para su obtención, convirtiendo este tipo de ciencias en multidisciplinarias y transversales (Landecker, 2002). La ingeniería de tejidos representa una técnica nueva e innovadora cuyo objetivo es diseñar, obtener, evaluar y aplicar equivalentes de tejidos mediante la combinación y dinámica entre células obtenidas por cultivos, soportes físicos derivados de biomateriales y finalmente factores de crecimiento celular que regulen procesos metabólicos intracelularmente. Toda esta mezcla de componentes es necesaria para que dichos sistemas inteligentes mimeticen o imiten óptimamente el tejido de interés en cuanto a su estructura 3D y función, ya sea para aplicación clínica o como modelo de estudio tisular (Pancrazio, Wang y Kelley, 2007). Esto ya se está logrando a nivel internacional en muchos países, los cuales han invertido gran cantidad de recursos económicos y humanos, y es el principal objetivo del Laboratorio de Biomiméticos del Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia (IBUN).

Bibliografía

- Coté R. J. (1998), “Aseptic Technique for Cell Culture” en: *Current Protocols in Cell Biology*, USA. Wiley & Sons, InterScience, pp: 48-96.
- Dressler L. G. and Visscher D. (1997), “Handling, Storage, and Preparation of Human Tissues” en *Current Protocols in Cytometry*. USA. Wiley & Sons, InterScience, pp: 494-508.
- Freshney Ian. (2000), “Culture of Animal Cells: A Manual of Basic Technique”, Wiley-Liss, A John Wiley & sons, Inc, USA.
- Geneser Finn. (2000), *Histología*, Editorial Médica Panamericana.
- Harford J. B. (2003), “Cell Culture” en *Current Protocols in Cell Biology*, USA. Wiley & Sons, InterScience, pp: 21-22.
- Landecker H. (2002), “New times for biology: nerve cultures and the advent of cellular life in vitro”, en *Stud. Hist. Phil. Biol. & Biomed. Sci.* 33, pp. 667-694.
- Leyva-Cobián F. (1985), “Los Cultivos Celulares *in vitro*: cien años después”, en *Inmunología* 4(3), pp. 85-87.
- Martínez M. (2009), “Técnicas para la detección de apoptosis y senescencia celular *in vitro* y su importancia en biotecnología de la salud”, en *Revista Colombiana de Biotecnología* 11(2), pp. 152-166.
- Pancrazio J. J., Wang F., Kelley C. A. (2007), “Enabling tools for Tissue Engineering”, en *Biosensors and Bioelectronics* 22, pp. 2803-2011.
- Phelan M. C. (1998), “Basic Techniques for Mammalian Cell Tissue Culture” en *Current Protocols in Cell Biology*, USA. Wiley & Sons, InterScience, pp: 23-32.
- Takashima A. (1998), “Establishment of Fibroblast Cultures” en *Current Protocols in Cell Biology*, USA. Wiley & Sons, InterScience, pp: 127-138.
- Sato D., Kan M. (1998), “Media for Culture of Mammalian Cells” en *Current Protocols in Cell Biology*, USA. Wiley & Sons, InterScience, pp: 33-47.

Divulgación científica

Escribir divulgación de la ciencia

GERMÁN CUBILLOS ALONSO
EDITOR, *INNOVACIÓN Y CIENCIA*

gercubillos@hotmail.com

El conocimiento científico no forma parte de la naturaleza,
sino que es la interpretación de esta que ha realizado la comunidad humana,
con el instrumento racional del lenguaje.
(Cassany, D., López C., y Martí, J., 2000: 74)

Introducción

Esta escultura¹, actualmente en el Museo de Orsay, que representa a una mujer joven despojándose de sus vestiduras, cuyo título es *La naturaleza develándose ante la ciencia*, es una metáfora construida por Ernest Barrias para representar una de las concepciones de finales del siglo XIX sobre la ciencia: la naturaleza está cubierta por un velo que impide que podamos verla en todo su esplendor, por lo tanto es necesario correr ese velo y eso le corresponde a la ciencia. No obstante, el título permite también la interpretación animista de que es la naturaleza misma la que se devela ante los ojos humanos y no que el cerebro y la mano quitan el velo, muy lentamente por cierto, para poder apreciarla.

Independientemente de estas interpretaciones, el título también puede sugerir que la naturaleza se devela ante la ciencia y no ante la humanidad, es decir que, cuando finalmente los velos caigan del todo, si esto es posible, ya que la joven puede ser suficientemente pudorosa, solo será la ciencia, y por derecho propio, los científicos que la producen, quienes podrán apreciarla. ¿Y qué harán los científicos? A juzgar por lo que han hecho hasta ahora, cubrirla con nuevos velos más densos y tupidos, de tal manera que los pobres humanos, comunes y corrientes, no podrán apreciarla.

Grosso modo, ésta es una posible interpretación no solamente de la escultura de Barrias, sino también del discurso especializado que los científicos utilizan en sus comunicaciones que son, además, comunicaciones entre ellos, en el interior de sus comunidades científicas.

Para completar una introducción al tema que me propongo desarrollar en este ensayo, voy a reproducir dos versiones de una misma anécdota sobre divulgación de la ciencia. Una, la versión que nos presenta Ernesto Sábato en su libro *Uno y el universo* y que intitula justamente así: *Divulgación*, y la otra, contada por Daniel Cassany en su libro *Tras las líneas*, relatada al escritor por el periodista argentino Jorge Halperín.

Divulgación

Alguien me pide una explicación de la teoría de Einstein. Con mucho entusiasmo, le hablo de tensores y geodésicas tetra-dimensionales. —No he entendido una sola palabra —me dice, estupefacto. Reflexiono unos instantes y luego, con menos entusiasmo, le doy una explicación menos técnica, conservando algunas geodésicas, pero haciendo intervenir aviadores y disparos de revólver. —Ya entiendo casi todo —me dice mi amigo, con bastante alegría—. Pero hay algo que todavía no entiendo: esas geodésicas, esas coordenadas... Deprimido, me sumo en una larga concentración mental y termino por abandonar para siempre las geodésicas y las coordenadas; con verdadera ferocidad, me dedico exclusivamente a aviadores que fuman mientras viajan con la velocidad de la luz, jefes de estación que disparan un revólver con la mano derecha y verifican tiempos con un cronómetro que tienen en la mano izquierda, trenes y campanas. — ¡Ahora sí, ahora entiendo la relatividad! —exclama mi amigo con alegría. —Sí —le respondo amargamente—, pero ahora no es más la relatividad. (Sábato, E., 1945: 19-20)

1. Encargada en 1889 para la nueva Facultad de Medicina de Burdeos.

Entrevista con Halperin

Un día una abuelita encontró a Albert Einstein por la calle, lo reconoció y le pidió que le explicara la teoría de la relatividad. El físico atendió amablemente a la petición y respondió tan bien como supo. «¿La ha comprendido?», preguntó. La viejecita respondió: «No señor; ¿me la podría explicar otra vez?» Entonces el sabio simplificó la teoría, pero la viejecita reaccionó igual. En el quinto intento, con más reducciones informativas, la anciana respondió: «¡Ahora sí, señor Einstein, ahora sí que entiendo!» «Pues, mire, esto ya no es la teoría de la relatividad», concluyó el físico. (Halperin, J., 1996, citado por Cassany, D., 2006: 242-243)

Las dos anécdotas se complementan ya que en ambas hay reducciones que simplifican la teoría, no obstante, en la de Sábato está claro que las reducciones que fueron necesarias tenían que ver con la parte matemática de la teoría; aunque en la otra no se especifica cuál era la parte de la teoría que la viejecita no comprendía, se puede suponer que ella tampoco entendía la parte matemática y seguramente tampoco todo lo demás. Ahora, lo importante de las dos consiste en que en ellas se concibe que las grandes teorías de la ciencia no pueden ser entendidas ni comprendidas por quienes no pertenezcan a la comunidad científica particular donde se elaboraron las teorías que se intentan explicar, o, por lo menos, a una comunidad científica conceptualmente cercana. También se puede entender de las anécdotas que la divulgación de la ciencia degrada las teorías pues, al simplificarlas, pierden rigor, precisión y exactitud, capacidad explicativa y predictiva, elegancia formal... es decir, se las aniquila.

1.

El motivo para escribir este ensayo proviene de los comentarios, relacionados con el tema de la divulgación, de dos investigadores que colaboran con nuestra revista. Uno de ellos, después de leer el artículo ¿Quién sabe sobre qué investiga usted Doctor? (Cubillos, G., 2010: 40) me decía: mira Germán, posiblemente tienes razón al plantear que los investigadores escribimos sólo para pares, pero eso es totalmente lógico pues todo investigador debe publicar en revistas especializadas, debe mostrar una producción permanente pues, en parte, de eso depende la financiación de los proyectos. Además, hemos aprendido a escribir en el formato de esas revistas y existe una tradición que determina el estilo, la estructura y demás detalles de esos escritos. Cuando tú nos incitas a escribir divulgación de la ciencia se te olvida algo fundamental, nadie nos ha dicho cómo se escribe divulgación.

El otro investigador hizo un planteamiento complementario en otro sentido, después de leer dos artículos, uno de Física y otro de Filosofía. Después de leer el de Física, siendo él doctor en esa disciplina, no logró entenderlo muy bien y solamente planteó muy diplomáticamente el interrogante crucial: ¿qué habrán entendido los lectores no especialistas? Posteriormente, después de leer el de Filosofía me preguntó: ¿existe alguna posibilidad de que la Revista promueva tratar los temas filosóficos y científicos de manera más pedagógica, de tal manera que los científicos y otros lectores entiendan mejor la Filosofía y los filósofos y otros lectores la ciencia? En otras palabras, su pregunta era si habría alguna forma de lograr que los científicos de las Ciencias Naturales escribieran para que sus artículos de divulgación fueran entendidos por no especialistas y que los filósofos escribieran, intentando que sus artículos los entendieran hasta los científicos de estas ciencias.

Pues bien, me propongo abordar el problema de la escritura de divulgación de las ciencias en general, aunque mi experiencia corresponda a las Ciencias Naturales. Naturalmente, no pretendo enseñar a escribir divulgación de la ciencia, pues eso sólo se aprende escribiendo divulgación, sino solamente aportar algunos elementos que pueden dar alguna orientación al respecto. Además, no abordaré la cuestión del periodismo científico, que considero se diferencia fundamentalmente de lo que aquí estoy denominando "divulgación de la ciencia", y que es un tema al que le dedicaremos un artículo en un próximo número.

2.

Para nuestro interés, podemos plantear que cuando hablamos de conocimiento científico nos referimos a dos aspectos: por un lado, a la producción de ese conocimiento, es decir al proceso de investigación científica, y por otro, a los resultados de esa investigación. El primer aspecto está relacionado con los métodos, estilos y procedimientos para su producción, que implica además las consideraciones epistemológicas particulares en las distintas disciplinas, y el segundo se refiere, tanto a la historia de la ciencia como a los resultados mismos del proceso de investigación que reposan en los diferentes soportes donde se registra ese conocimiento: libros, artículos, ponencias, etc.

El conocimiento científico debe comunicarse para que entre en el circuito de la cultura y esta comunicación se proyecta en tres frentes diferentes: las comunidades científicas, el sistema escolar y la sociedad en general. La comunicación a las comunidades científicas se hace prioritariamente a través de artículos científicos en las revistas especializadas, y también en libros, informes de investigación, ponencias en congresos y conferencias. En el sistema escolar, la ciencia se comunica a través de textos escolares, el discurso de los profesores de ciencias (trabajo pedagógico) y actividades de divulgación científica. A la sociedad en general, el conocimiento científico se le comunica a través de los medios de comunicación (periodismo científico) y de las estrategias de divulgación de la ciencia como museos de ciencia, conferencias, libros de divulgación, ferias de la ciencia, artículos, ensayos, teatro, cine, video, cuentos, novelas, talleres, *blogs*, *wikis*, y otras formas de las nuevas tecnologías.

Ahora bien, la fuente primaria para la ciencia escolar y la divulgación de la ciencia corresponde a las comunicaciones que hacen los científicos para las comunidades científicas, estructuradas en un lenguaje de especialidad. Estos lenguajes que se adquieren conscientemente en procesos de aprendizaje, a veces largos, el lenguaje de la Química, por ejemplo, utilizan terminología especializada que busca la precisión y la exactitud, ya que hace referencia a conceptos y funciones bien determinadas. En este sentido, son lenguajes artificiales que se construyen también con elementos del lenguaje común, dentro de los cuales no hay mucha libertad para denominar o designar. El discurso de la ciencia en las comunidades científicas se manifiesta prioritariamente en medios escritos, dentro de géneros bien definidos, no solamente por tradición, sino porque así el discurso es más controlado y cuando se publica ya ha tenido suficientes evaluaciones y correcciones.

Ahora bien, la comunicación en el ámbito del sistema escolar se realiza mediante un lenguaje en parte especializado y en parte en lenguaje común, es decir, el correspondiente a una comunidad de habla. Según los objetivos del sistema escolar el componente de lenguaje de especialización irá aumentando como preparación para etapas académicas superiores.

En cuanto a la comunicación del conocimiento científico a la sociedad en general, ésta se realiza prioritariamente en lenguaje común. Las diferencias con el lenguaje de especialidad no se pueden establecer definitivamente, sin embargo, propuestas como la del cuadro 1 (Ciapusció, G., 2000: 43) dan alguna idea:

LENGUAJES ESPECIALES/CIENTÍFICOS	LENGUA COMÚN/GENERAL
Precisión	Vaguedad
Claridad	Variación denominativa
Economía	Redundancia
Invariabilidad situacional	Variabilidad situacional
Referencia al objeto	Diversidad temática/ valoración
Nivel teórico	Cotidianidad

Cuadro 1.

Y podemos ampliar el listado de estas características, aunque tenga solamente el carácter de aproximación:

Cuadro 2.

<p>CARÁCTER ABSTRACTO IMPERSONAL. PREDOMINA LA VOZ PASIVA NEUTRO EMOCIONALMENTE</p>	<p>CARÁCTER CONCRETO PERSONALIZADO GENERALMENTE EMOTIVO</p>
---	---

Paradójicamente, a pesar de la posibilidad de utilizar todas las formas comunicativas de los medios masivos, de las artes y de todas las actividades lúdicas imaginables, la comunicación a la sociedad en general es la que presenta el mayor problema para comunicar la ciencia. La razón de esta dificultad se relaciona con las anécdotas que mencionamos arriba: si la ciencia de los científicos requiere de un lenguaje especializado para tener la precisión y exactitud que se espera de la ciencia, ¿cómo ponerla en lenguaje cotidiano sin perder la esencia de las teorías, los conceptos, los procedimientos?

3.

La respuesta a la pregunta formulada arriba es inmediata: *¡no es posible!* Cuando un físico o un químico dice "electrón", el término, para ellos, remite a un concepto construido dentro de un complejo teórico-experimental que incluye historia del concepto, definiciones lingüísticas, definiciones matemáticas, representaciones visuales, comparaciones con otros conceptos relacionados, usos teóricos del concepto, experimentos cruciales en su descubrimiento, corroboración, funciones en la estructura teórica de la materia, funcionamiento en la materia concreta de los materiales, experiencias personales y un



IBEROAMERICANA
 Institución Universitaria
P.J. 0428 DEL 28 DE ENERO DE 1982 MIEN

SEMESTRE 2011
INSCRIPCIONES ABIERTAS

Pregrados:

- Lic. en Educación Especial
- Lic. en Pedagogía Infantil
- Administración y Finanzas
- Tecnología en Logística
- Contaduría Pública
- Fonoaudiología
- Fisioterapia
- Psicología

Postgrados:

- Audiología-Bogotá
- Rehabilitación de la Discapacidad de la Comunicación Infantil-Bogotá
- Fisioterapia en Cuidado Crítico-Bogotá
- Formulación y Gestión de Programas de Acondicionamiento Físico-Bogotá
- Proyectos de Investigación Científica y Tecnológica A Distancia-Bogotá-Neiva
- Medición y Evaluación en Ciencias Sociales A Distancia-Bogotá
- Control Interno y Auditoría de las Organizaciones de Salud - A Distancia-Bogotá Neiva
- Gerencia de las Organizaciones de Salud A Distancia-Bogotá Neiva
- Auditoría Integral - A Distancia-Bogotá Neiva
- Formulación y Evaluación de Proyectos de Desarrollo Social - A Distancia-Bogotá Neiva

Subsidios hasta del 30%

Bogotá: Sede Admisiones Cra. 6 N° 66 - 51
 Informes: 2113111 - 5424288
 E-mail: contacto@iberoamericana.edu.co
www.iberoamericana.edu.co

La Ibero!

largo ...etc. Estrictamente, el significado del término está construido dentro de un complejo cultural de una comunidad científica. Igual pasa con la palabra "tumor" para un médico, o la palabra "célula" para un biólogo, o la expresión "falla geológica" para un geólogo. Para los no especialistas, electrón puede ser una "pepa chiquita" que dicen que está en los átomos, tumor puede ser aquello de lo que murió un tío y falla geológica lo que produjo el terremoto en Chile. Claro, lo anterior, si tiene alguna información académica o periodística. ¿Entonces, como comunicar la ciencia a la sociedad en general?

En principio, tenemos ya algunos elementos que podemos destacar con base en lo que hemos dicho hasta aquí. Cuando se realiza la comunicación de la ciencia con interés de divulgación, para nuestro caso en forma escrita, esa comunicación está determinada por los interlocutores, emisor y receptor, la función de esa comunicación y, a partir de la definición de estos elementos, el género discursivo y el lenguaje que se utilizará.

En cuanto al emisor, mi concepción es que debe ser el investigador mismo o un miembro de una comunidad científica que tenga la formación necesaria para realizar las operaciones de divulgación que veremos más adelante. El receptor, en el caso de la *Revista Innovación y Ciencia*, por ejemplo, corresponde a estudiantes y docentes de bachillerato y universidad. Puesto que la función es divulgar la ciencia en general, su función es eminentemente informativa, aunque muchos artículos de los que publicamos tienen un componente didáctico importante y, por lo tanto, son utilizados en actividades académicas formales orientadas a la construcción de conceptos por parte de los estudiantes dentro de la práctica pedagógica.

En lo relacionado con el género discursivo, por ser un medio escrito, se privilegian los artículos y ensayos, las notas cortas de actualización informativa sobre las diferentes áreas de la ciencia y las reseñas de libros y otros productos de la cultura científica, que aportan una información valiosa sobre obras importantes del mundo de la ciencia y la tecnología.

A partir de estas definiciones, esperaríamos que el discurso que nosotros pedimos a nuestros colaboradores tuviera algunas de las siguientes características:

- Respetar lo que se va a divulgar, esto quiere decir, conocer el tema con suficiente solvencia, respetar la lógica de los contenidos, ser veraz histórica y conceptualmente.
- Divulgar con ética y responsabilidad, dando los créditos correspondientes cuando sea necesario y comprometiéndose con las afirmaciones propias.
- Construir un discurso interesante abordando temas relacionados con la vida intelectual y práctica del público a quien va dirigido el discurso, es decir, asociar la información con situaciones cotidianas del público objetivo.
- Contextualizar históricamente
- Utilizar elementos del discurso didáctico como: definiciones, explicaciones, descripciones, narraciones, ejemplos, metáforas, comparaciones con aspectos de la vida cotidiana, ilustraciones, fotografías, etc.
- Toda divulgación de la ciencia debe intentar atraer a los lectores hacia las ciencias, por lo tanto, se deben utilizar los recursos retóricos y literarios que sean necesarios para que los escritos sean, además de interesantes, divertidos. La ciencia puede ser divertida sin por ello demeritarse.

Más allá de estas pocas recomendaciones, ahora vamos a proponer algunos elementos conceptuales sobre operaciones de divulgación. En primer lugar, vamos a rescatar una definición de Basil Bernstein sobre el papel del educador, que considero se ajusta también al del divulgador. Bernstein lo define como un *recontextualizador*. Su definición de la función de los educadores, que nosotros acogemos por extensión para los divulgadores, es ésta:

Cada educador (y divulgador, adicionamos nosotros) es un «recontextualizador» que solo alcanza óptima calidad cuando, por una parte, es capaz de desempeñarse con solvencia en el eslabón del cual toma el conocimiento que difunde y, por otra parte, es sensible al contexto en el cual trabaja al escoger, ordenar y «traducir» el conocimiento que enseña (o divulga, completamos nosotros). Sin buenos recontextualizadores el conocimiento no circula y sin una sólida articulación a los procesos mundiales de recontextualización, la generación de conocimiento científico y técnico es imposible. (Bernstein, B., 1985: 105-152)

Entonces ¿cómo puede el profesor y el divulgador realizar el proceso de pasar (traducir) los discursos especializados a los discursos didácticos y divulgativos sin deformarlos?

Indudablemente, existen muchas formas; aquí vamos a proponer una. Partimos de que los conocimientos científicos los podemos representar de múltiples maneras, por ejemplo, como redes de relación de conceptos, en las cuales cada elemento de la red queda definido por las relaciones que se pueden establecer con otros conceptos. Supongamos que una red de tal tipo, elaborada por miembros de la comunidad científica de químicos para definir el concepto de “reacción” fuese como la que se representa en la Red No 1.

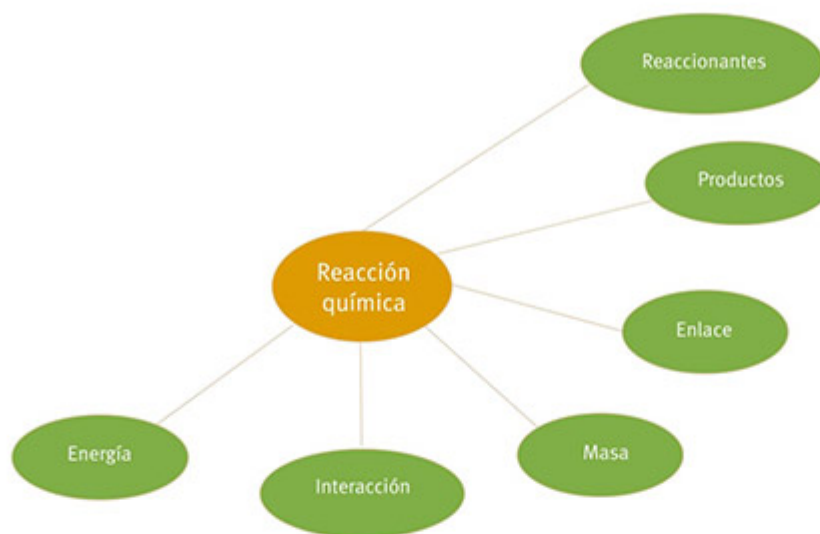
Red 1.

Reacción química.



Supongamos ahora que en el trabajo pedagógico o en el artículo de divulgación solo interesa un primer acercamiento al concepto por el nivel de conocimientos previos que se presupone o que se ha investigado en el público objetivo. El profesor o el divulgador tendría que modificar la red mediante un proceso de *reducción*² en el cual la red pierde algunos de sus elementos constitutivos, como aparece, por ejemplo, en la Red No 2.

2. Proceso por el cual se eliminan nodos en una red conceptual.



Red 2.

Reacción química, reducida.

Esta nueva red es, efectivamente, distinta de la primera; sin embargo, no se ha involucrado ningún elemento que no estuviera en la primera, es decir, que pudiera no tener relación con el concepto central de tal manera que así se conserva una parte de la rigurosidad teórica. Los conceptos que se conservan son los que a juicio del profesor o del divulgador son imprescindibles para el objetivo específico de la comunicación.

Simultáneamente, el profesor o el divulgador pueden decidir que van a reemplazar parte o todos los elementos suprimidos en la reducción por otros más cercanos a la experiencia del público y presentes en el discurso de la vida cotidiana. En esta operación, denominada *inclusión*³, podría por ejemplo involucrar el concepto "ambiente" para reemplazar "medio de reacción y condiciones", teniendo en cuenta la utilización muy frecuente del término, en la vida cotidiana de cualquier estudiante desde la primaria, con el significado de: condiciones o circunstancias físicas, naturales, sociales, etc., de un organismo, un lugar, una colectividad o una época (medio ambiente, ambiente de la época, buen ambiente para...). La nueva red quedaría entonces como la Red No 3.



Red 3.

Reacción química con ampliación e inclusión.

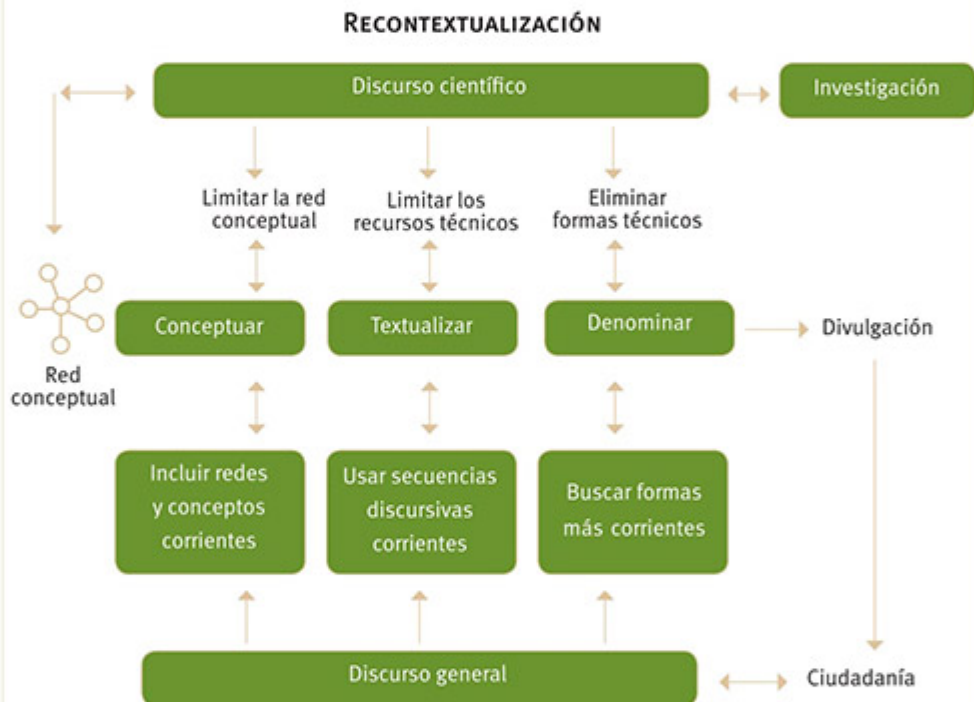
3. Inclusión: proceso por el cual la red conceptual de conocimiento científico establece vínculos con nodos y campos del saber externos a la disciplina especializada en la que se estableció la red conceptual. Dichos vínculos extra-disciplinares, entre ciencia y conocimiento general, constituyen, en la práctica, la puerta de acceso que utiliza el lego para penetrar en la red conceptual especializada, puesto que conectan a ésta con el mundo y el saber general. (Cassany, D., López, C., Martí, J., 2000: 85).

Esta red que resulta del proceso de reducción y de inclusión es, nuevamente, distinta de la primera y, aunque se ha incluido un nuevo término que rescata, por analogía, los elementos suprimidos de la primera red, no ha perdido su rigor científico.

Si bien, en la nueva red el término "ambiente" no está definido con el rigor necesario, pues no es el término especializado para referirse al medio químico en el cual se realiza la reacción ni a las condiciones de presión y temperatura, no obstante, permite construir una imagen que es cercana, por analogía. Este procedimiento se puede realizar varias veces hasta llegar a la red conceptual que pueda corresponder al nivel de información del público al cual está orientada la comunicación.

Es necesario considerar, además de la red conceptual, otros elementos en la construcción del discurso en el que deberá omitirse aspectos del discurso especializado tales como la precisión que resulta de la presentación de abundantes tablas de datos y su representación mediante gráficas muy precisas, el análisis estadístico riguroso, las demostraciones matemáticas estrictas, y el léxico especializado, que deberá tener una definición, si no puede no usarse.

Estos elementos hacen parte del modelo de Daniel Cassany (2006:65) para la divulgación de la ciencia.



La definición de Cassany para el concepto fundamental del modelo que está en la parte superior del esquema es la siguiente:

Recontextualizar significa conseguir que un dato elaborado por la institución científica pueda ser comprendido por la mayoría de los miembros -si no todos- de la comunidad de habla, de modo que se satisfagan sus necesidades sin producir confusión o malentendidos. El dato científico debe conectarse con el mundo del ciudadano y formularse en un discurso propio de la comunidad de habla para que pueda ser comprendido. (Cassany, D., 2006: 264)

4.

Este acercamiento a la escritura de divulgación de la ciencia permite una serie de conclusiones:

- No se puede divulgar sin perder algo del discurso científico original, del cual debe partir el divulgador. En el proceso de escritura de divulgación, se trata de la creación de un nuevo discurso,

dirigido a otros públicos, con objetivos diferentes. Entonces, el concepto que hemos destacado de "recontextualización" significa que se deben reformular los textos de los cuales se parte, tanto en su complejidad conceptual como en todos los niveles lingüísticos (género discursivo, estilo, lenguaje, estructura, etc.)

- Es fundamental el compromiso y la generosidad de los miembros de las comunidades científicas para lograr una buena divulgación de la ciencia, si aceptamos que los primeros llamados a realizar esta tarea deben ser los miembros de esas comunidades.
- La idea de que los divulgadores sean miembros de las comunidades científicas está basada en la necesidad de que quien divulgue realmente comprenda lo que va a divulgar, tanto en los aspectos conceptuales como en los metodológicos. Es fundamental la comprensión de los caminos que se siguen en la investigación científica, así como los contextos de justificación, la historia de las ideas, las relaciones de la ciencia con la sociedad y, muy importante, el sistema de valores del ámbito científico. Digamos que, de lo que se trata, no es solamente de la divulgación de los resultados de la ciencia sino de "la cultura científica" con todo lo que esta expresión significa. Necesariamente, los miembros de las comunidades científicas que decidan escribir divulgación tienen que desarrollar competencias comunicativas en géneros diferentes a los que están acostumbrados a utilizar para las revistas especializadas.
- Idealmente, dentro de una política coherente de divulgación, podemos soñar con equipos interdisciplinarios donde estaría presente el investigador que produce el conocimiento, el comunicador que propone el medio y el género apropiado para el tema particular, el diseñador que propone la presentación y los elementos de imagen que le den una dimensión plástica al escrito, y un experto en pedagogía que pueda aconsejar sobre la estructura conceptual y los elementos didácticos que se pueden utilizar en cada caso. Es definitivamente un sueño. Mientras se puede hacer realidad, debemos continuar solicitando la participación de los miembros de las comunidades científicas en la divulgación de la ciencia.

Finalmente, no me resisto a la tentación de cerrar este ensayo con una respuesta divulgativa de un experto a la pregunta: ¿Qué es la teoría de la relatividad?

Para los físicos, hablar de esta Teoría no es difícil porque ya tienen incorporados los conocimientos necesarios para interpretarla. Pero no se asuste: la Teoría de la Relatividad Especial (la que este año cumple 100 años) es un primer paso hacia la Teoría de la Relatividad General, publicada en 1915, en donde Einstein demostró que, excepto la velocidad de la luz (que siempre es constante), lo demás -como el paso del tiempo o la longitud de los objetos- puede ser relativo. Uno de los aspectos más conocidos de la Teoría Especial relaciona a la masa y a la energía. Se trata de la fórmula $E=mc^2$. Aquí, el físico Alejandro Gangui la explica a través de un diálogo:

A: ¿Qué significa $E = mc^2$?

B: "E" es la energía de un objeto. Por ejemplo, un automóvil que se mueve muy rápido tiene mucha energía (energía de movimiento). Un piano colgado del 7º piso también tiene mucha energía (energía en "potencia": en caso de caerse la sentiríamos).

A: Y un elefante quieto, comparado con un mono también quieto que está a su lado, ¿tiene más energía?

B: ¿Vos qué pensás?

A: Yo creo que sí.

B: ¿Y dónde está la diferencia de energía?

A: Y... ¿en su peso?

B: Tibio...tibio... ¿y si yo enviara al mono y al elefante al espacio, donde ninguno de los dos pesa nada...?

A: Pero... igual el elefante es más grandote, tiene más carne!

B: Más masa, querrás decir... Exacto. Y esa masa nos acerca un poco al significado de la "m" de

" $E = m \cdot c^2$ ".

A: ¿Cómo que nos acerca solamente? ¿La "m" no es la masa del elefante?

B: Sí, es su masa, pero no es la masa que vos pensás. Esa masa "m" que aparece en la fórmula " $E = m \cdot c^2$ ", ¡aumenta cuando el elefante se mueve respecto de quien lo observa!

A: ¿La masa depende de la velocidad? ¿Cómo es eso?

B: Por ejemplo, si un elefante de 500 kilos y el mono, juntos, corrieran muy (¡pero muy!) rápido, el mono vería que el elefante tiene justo 500 kilos, ya que el elefante no se mueve respecto del mono. Pero vos, quieto y viéndolos pasar, verías que la masa del elefante ha aumentado.

A: ¿Aumenta? ¿Y cuánto aumenta?

B: Eso depende de la velocidad que tengan...

A: Digamos..., si se movieran a unos 260 mil km por segundo, ¿Cuál sería la masa del elefante?

B: Justo el doble! 1000 kilos. Y a mayor velocidad, mayor masa. ¡Y mayor energía, por supuesto!

A: Pero entonces yo vería que el mono también duplicaría su masa, ¿sí?

B: ¡Exacto! Entre ellos no notan la diferencia, pero vos los verías con el doble de (Ojo, el espacio no se deja arreglar) masa.

A: ¿Y si se movieran a la velocidad de la luz? Porque "c" es la velocidad de la luz, que aparece al cuadrado, es decir, multiplicada dos veces en la fórmula de arriba, ¿no?

B: Nunca podrían moverse a la velocidad de la luz. Y menos aún ir más rápido que la luz en el vacío.

A: ¿Por qué?

B: Porque al querer correr tan rápido como la luz (casi 300 mil kilómetros por segundo), la masa aumenta sin límite: ¡se hace infinita! Y la energía necesaria también se hace infinita.

A: Y para la luz, ¿la energía se escribe también de esta manera?

B: No, para la luz la fórmula " $E = m \cdot c^2$ " ya no vale.

A: ¡Claro!, porque la luz no tiene masa.

B: Exacto. Aparte la luz ya se mueve con "la velocidad de la luz". A: ¿Y cómo es la fórmula de la energía para la luz?

B: " $E = h \cdot f$ ", donde "f" es la frecuencia de un corpúsculo de luz (de un "cuanto", de una parte que la compone) y "h" es una constante. Pero ésa es otra historia...

A: ¿Y quién dijo todo eso?

B: Fue Albert Einstein, en 1905, en una serie de trabajos científicos muy importantes para la física.

A: ¡Hace justo 100 años!

B: En efecto, fue un "año milagroso".

(Fuente: <http://www.clarin.com/diario/2005/03/06/sociedad/s-933463.htm>)

Extractado de un artículo del diario *El Clarín* del 2005.

Físico: Alejandro Gangui

Del Instituto Argentino de Astronomía y Física del Espacio
de la Universidad de Buenos Aires (IAFE-UBA)

Referencias

Berstein, B. (1985), "Hacia una teoría del discurso pedagógico", en *Revista colombiana de educación*, N° 15

Cassany, D., López C., y Martí, J. (Junio de 2000, "La transformación divulgativa de redes conceptuales científicas. Hipótesis, modelo y estrategias", en *Discurso y Sociedad*, vol. 2, N° 2, Gedisa.

Cassany, D. (2006), *Tras las líneas*, Anagrama, Barcelona, España.

Ciapuscio, G. (Junio de 2000), "Hacia una tipología del lenguaje especializado", en *Discurso y Sociedad*, vol. 2, No 2.

Sábato, E. (1945), *Uno y el universo*, [en línea], disponible en: <http://www.librosgratisweb.com/pdf/sabato-ernesto/uno-y-el-universo.pdf>, consultado en: octubre 20 de 2010.

Ver para conocer, conocer para preservar



White-necked Jacobin en inglés cuyo nombre científico es *Florisuga mellivora*, hembra y macho. Es la especie de Colibrí más abundante en Zingara, Valle del Cauca.

FOTO: EDUARDO CARVAJAL

Las alianzas académico – administrativas, la clave para la gestión de la investigación universitaria: el caso de la Universidad del Norte

RAIMUNDO ABELLO LLANOS, PH.D.

DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN,
DESARROLLO E INNOVACIÓN DEL SISTEMA DE INVESTIGACIONES DE
LA UNIVERSIDAD DEL NORTE (SIUN). MIEMBRO DEL GRUPO DE
INVESTIGACIONES EN DESARROLLO HUMANO (GIDHUM).

rabello@uninorte.edu.co

Resumen

Tomando como base el caso de la Universidad del Norte en Colombia, su organización, su dinámica, los aspectos sobresalientes de su práctica, al igual que las debilidades, fortalezas, oportunidades y obstáculos que representa el proceso en las IES colombianas, este artículo trata sobre la necesidad de mantener, en la práctica de la gestión y la administración de la actividad de investigación en Instituciones de Educación Superior (IES), alianzas académico - administrativas.

Palabras claves: Gestión de la investigación, administración de la investigación, vinculación docente - administrativa

Introducción

Para muchas personas las universidades representan instituciones de enseñanza, esto es, lugares en los que especialistas imparten el conocimiento a través de conferencias, asignación de lecturas, sesiones de laboratorio, labores tutoriales, ejercicios de escritura y exámenes. Esta caracterización es aceptable, teniendo presente que la enseñanza es una parte esencial de la misión de cualquier universidad y habida cuenta de que, aparte de los títulos académicos avanzados, la gran mayoría de los graduados universitarios tienden a experimentar la universidad exclusivamente como medio de enseñanza para llegar a la empresa. Muchas universidades en Colombia y el mundo mantienen sus instituciones sólo con la función de enseñanza y a las actividades de investigación les conceden poco tiempo, de tal forma que sus alcances son limitados.

Aunque la transmisión de conocimientos es fundamental para los intereses sociales y económicos, el desarrollo y el progreso general del saber vienen a través de actos basados en la investigación como actividad de producción de conocimiento, razón por la cual la función de investigación resulta una actividad importante dentro de las funciones universitarias. Cuando esta función se toma en serio, las universidades, como en el caso de algunas colombianas, seleccionan cuidadosamente el personal académico en función de su capacidad de investigación (sin excluir otras capacidades), definen incentivos adecuados a los profesores para desarrollar actividades de investigación, proporcionan el tiempo y la infraestructura necesaria para apoyar el trabajo investigativo, y propician la creación de espacios para la generación colectiva y la difusión del conocimiento como la creación de capacidades de gestión de la misma (Mintrom, 2008).

La actividad principal de una universidad es la enseñanza pero la investigación es lo que las diferencia. Por lo general, las instituciones que desarrollan mejor investigación reciben una proporción mayor de financiación pública y privada, por ello es que existe una relación significativa entre la calidad de la investigación y la cantidad de la financiación captada del sector (Gulbrandsena, y otros, 2005).

Quienes hemos tenido la experiencia de dirigir la investigación en una universidad encaminamos casi todos los esfuerzos, en primera instancia, a diseñar y proponer una estrategia que permita incrementar esta actividad estableciendo una dinámica académica de trabajo, estrechamente vinculada con los profesores, para la formulación de proyectos de investigación y la búsqueda de fuentes de financiación. El reto lo constituye organizar la actividad mediante una estructura que permita poner en marcha la estrategia y cuya dinámica permita las alianzas entre actores académicos (directores de departamento, profesores, estudiantes) y actores administrativos (oficinas administrativas: contratos, compras etc.), necesarias para que en la estructura se puedan preparar, presentar y ejecutar proyectos de investigación con recursos de financiación nacionales e internacionales.

La evolución de la investigación en las INS cada vez cobra mayor relevancia para que éstas puedan ser competitivas, sobre todo en los escalafones nacionales e internacionales de investigación. Hoy en día, se identifican estructuras en instituciones de educación superior donde se evidencia con mucha claridad la relación académico administrativo como factor clave para apoyar y fomentar la investigación, el desarrollo y la innovación.

Para delimitar mejor la función de investigación de la universidad, en la Figura 1 se muestra un modelo general del proceso de investigación según Mintrom, (2008). El desarrollo del modelo, sustentado en las ideas de Frischmann (2005) y Lester y Piore (2004), identifica cuatro componentes fundamentales:

- Entradas de la investigación
- Transformaciones
- Resultados de la investigación y subproductos
- Desarrollo de productos y servicios.

El modelo explica cómo el proceso de investigación vincula la administración, la docencia y el servicio y cómo estos vínculos permiten las relaciones con el sector externo. Aunque simplificado y abstraído de la complejidad de la investigación, el modelo permite aclarar situaciones a las que se enfrentan los administradores de las universidades.

Figura 1.
Modelo general de investigación según Mintrom



Mi experiencia en la gestión de la investigación, por más de 15 años, en una universidad privada, me ha permitido corroborar la lógica de este modelo y explicar por qué la gestión de la investigación universitaria obedece en gran medida a alianzas administrativo – académicas que se constituyen en parte de la estructura interna que requieren las IES para llevar a cabo la gestión de la investigación, especialmente si se toman en cuenta ciertos aspectos que caracterizan la naturaleza de la actividad académica en algunas universidades privadas colombianas, como el que:

- Los profesores están adscritos a departamentos y dependen directamente de los directores de departamento y sus decanos.
- Los profesores de universidades colombianas son preferentemente docentes y su misión principal es enseñar; en este sentido, la investigación no necesariamente hace parte integral de sus funciones.
- Las cargas académicas no sean distribuidas sólo con la racionalidad de la investigación.
- No existen investigadores de tiempo completo.
- La docencia es necesariamente fundamental en la estructura financiera de una universidad, especialmente privada, con fortalezas en su enseñanza.

- Un vicerrector o director de investigaciones no hace parte de la línea directa de mando de los profesores, ya que éstos dependen directamente de la Vicerrectoría Académica, de la que dependen también los decanos, los directores de departamento y los profesores.
- Generalmente, las oficinas administrativas no son parte de la estructura de investigación en Colombia puesto que no consideran esta actividad como parte de sus funciones directas.

La lógica de este escenario propicia una estrategia de acercamiento diferente para organizar la gestión de la investigación enmarcada en la realidad antes descrita, de manera que posibilite el incremento de la práctica de la investigación mediante un número aceptable de proyectos de Investigación y Desarrollo (I+D) con recursos externos, y posibilite establecer las alianzas académico- administrativas que permitan un ambiente propicio para impulsar y fomentar la investigación.

Acceder directamente al profesor implica propiciar un ambiente de alianzas alrededor de metas institucionales que permita a la oficina de investigaciones apoyar a éste en la consecución de metas de investigación. Para ello, se requiere definir una estructura *abierto, dinámica y flexible* que posibilite al profesor, mediante una asistencia individual, formular los proyectos necesarios para acceder a recursos del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCTI).

Una gestión de éxito de la investigación requiere alianzas entre las divisiones académicas, departamentos y oficinas administrativas de la universidad; de esta forma, lo más conveniente es crear una estructura a manera de sistema, en el cual la oficina de investigaciones, dirección o vicerrectoría, se dedique fundamentalmente a **apoyar mediante alianzas académicas y administrativas** al profesor en la consecución de fondos, acompañarlo a la empresa, asesorarlo en la formulación de proyectos, apoyarlo en su producción intelectual, en la administración de sus recursos, en la preparación de sus grupos y de sus agendas, en el financiamiento previo, fortaleciendo de esta manera su liderazgo en el desarrollo de investigación financiada o contratada. En pocas palabras, se trata de una **misión orientada a la gestión** de apoyo en *cabeza de los profesores investigadores*, sin protagonismos directos y en directa armonía con las divisiones académicas, las oficinas administrativas y las vicerrectorías tanto académica como administrativa (Abello R. , 2007); (Abello R. , 2004); (Bolaño, 2004), Grablowitz, Rudeloff y Voss, 2002) y (Neave, 2002).

¿Cómo logramos diseñar una estructura orientada con este objetivo? La Figura n.º 2 (Abello R. , 2004), inserta al final del artículo, ilustra, bajo la teoría de los capitales (Sveiby, 2001), el capital intelectual que sustenta un sistema de investigaciones fundamentado en el fortalecimiento de **alianzas académico-administrativas** necesarias para dinamizar la investigación en toda su dimensión operacional.

Este modelo explica la dinámica de los flujos de conocimiento de la investigación, de la que hacen parte integral las personas, la estructura interna de la universidad (representada en todas sus oficinas administrativas: compra, contratos, finanzas, logística, seguridad, servicios generales, planeación y jurídica) y la academia (departamentos, divisiones, desarrollo profesoral, calidad académica, informática y ediciones) *conformando una red de apoyo* entre las personas y la estructura externa que facilitan la actividad investigativa del profesor para el logro de sus objetivos de investigación, la administración de los proyectos, la consecución de productos intelectuales, los ingresos para investigación, la transferencia de la tecnología y la protección y licenciamiento de la propiedad intelectual.

La Figura n.º 3 igualmente describe, a manera de ejemplo, cómo la Oficina Central de Investigaciones de la Universidad del Norte (Dirección de Investigación, Desarrollo e Innovación, DIDI) ha definido su sistema describiendo el tipo de interacciones entre las personas y las dos estructuras interna y externa, en el cual la DIDI, como oficina central de investigaciones, es la interfaz de la red de alianzas académico-administrativas necesarias para **apoyar** la investigación y el desarrollo mediante *tareas o procesos básicos*:

1. Vigilancia del SNCTI.
2. Redes y fondos internacionales.
3. Diligenciamiento y seguimiento a proyectos I+D desde la formulación a la ejecución, orientada a la consecución de recursos externos de investigación.
4. Apoyo en la administración de los proyectos con recursos externos.

5. Manejo de la propiedad intelectual resultante.
6. Negociación y transferencia del conocimiento resultante.
7. Producción de revistas y la producción intelectual.
8. Inversión interna en investigación: manejo del fondo de investigación.

Las capacidades de especialización de un sistema de investigaciones

De la dinámica de la investigación y de los procesos básicos de gestión del sistema se desprenden las actividades de la oficina de investigaciones que sustentan el capital estructural y relacional del sistema, o sea interacción entre las personas, la estructura interna y externa, de acuerdo con la figura n.º3, (Abello, 2005).

La estructura de gestión del sistema se centra principalmente en los **flujos de conocimiento** entre las unidades de investigación (grupos) y las estructuras académicas (divisiones, departamentos y programas), administrativas (oficinas como compras, presupuesto, jurídica etc.) y las vicerrectorías, a través de una *interfaz de gestión* técnico-administrativa que organiza y orienta, mediante una gestión de apoyo especializada, los **flujos de conocimiento e información**, buscando estratégicamente que culminen en actividades de investigación y desarrollo (I+D) financiadas, con administración apropiada de los recursos, resultados tangibles y de calidad, productos visibles, asociaciones claves para el ejercicio investigativo, protección del conocimiento resultante y articulación con la actividad de formación de los programas de pregrado, maestría y doctorado.

¿A qué corresponde el nivel de actividades de gestión que sustentan la gestión básica de la estructura de un modelo de intercambio y creación de conocimiento que sustenta las capacidades del Sistema de Investigaciones? En Colombia, esta tradición es muy débil, de suerte que entidades gubernamentales y gremiales vienen promoviendo una red de gestores universitarios para investigación y desarrollo, de acuerdo con la actual dinámica de producción del conocimiento. Veamos algunas de las actividades y funciones ya delimitadas y aprendidas desde nuestro sistema y que componen el paquete básico de la actividad cotidiana de la gestión de un sistema de investigaciones (Abello, 2008).

Para la funcionalidad de las especialidades de un sistema de esta naturaleza se requieren sinergias y alianzas académico - administrativas de las personas en la estructura interna, así como de las personas con la estructura externa (capital relacional). Esta dinámica de flujos y relaciones es indispensable para el éxito de la actividad de investigación, su impacto en la empresa, en la sociedad y para el licenciamiento de la propiedad intelectual (PI) resultante; desafortunadamente, la mayoría de los esquemas son rígidos, producto de escasas *alianzas académico-administrativas* (Abello R., 2007); (Abello R., 2005); (Bolaño, 2004), (Grablowitz, Rudeloff y Voss, 2002), (Neave, 2002; .Mintrom, (2008), Frischmann (2005) y Lester y Piore (2004).

472
LA RED POSTAL DE COLOMBIA

www.4-72.com.co

472
LA RED POSTAL DE COLOMBIA

Hay funciones administrativas que no se conocen y que se desarrollan en las oficinas y vicerrectorías de investigación de las IES colombianas, ya que no se ha identificado con claridad el papel que juega en la estructura interna de un sistema de investigaciones la administración de la universidad. Sin la claridad de los académicos, de la necesaria participación de los administrativos, y sin el reconocimiento de los administrativos de su papel en la cadena de la investigación, es poco probable lograr una gestión de éxito de la investigación. Una universidad que enseña e investiga sólo se logra con políticas que favorezcan la investigación acompañada de alianzas entre la academia y la administración de la universidad.

Por los recientes cambios en la estructura del SNCTI en Colombia, se prevé un crecimiento de actividades de I+D dentro de los sistemas, producto de la incorporación de nuevos profesores con doctorado, del acelerado crecimiento de las maestrías, de la aparición de programas de doctorado que movilizan un flujo de proyectos dentro del sistema de investigaciones, del acceso a fondos internacionales, del crecimiento del financiamiento interno, de las demandas crecientes para aumentar la producción intelectual de los profesores, de la cada vez más reconocida conciencia de los grupos en su consolidación a niveles de excelencia. Esto me lleva a pensar que hay que fortalecer las estructuras de gestión, de modo que permitan mantener lo existente, aceptar el crecimiento de las actividades de I+D e incorporar los nuevos retos de nuestro sistema, cifrados en el crecimiento de patentes con posibilidad de comercialización, el licenciamiento de PI resultante de I+D, el aumento de la financiación internacional de proyectos, los nuevos contratos de regalías y el aumento de ingresos externos y protección del conocimiento.

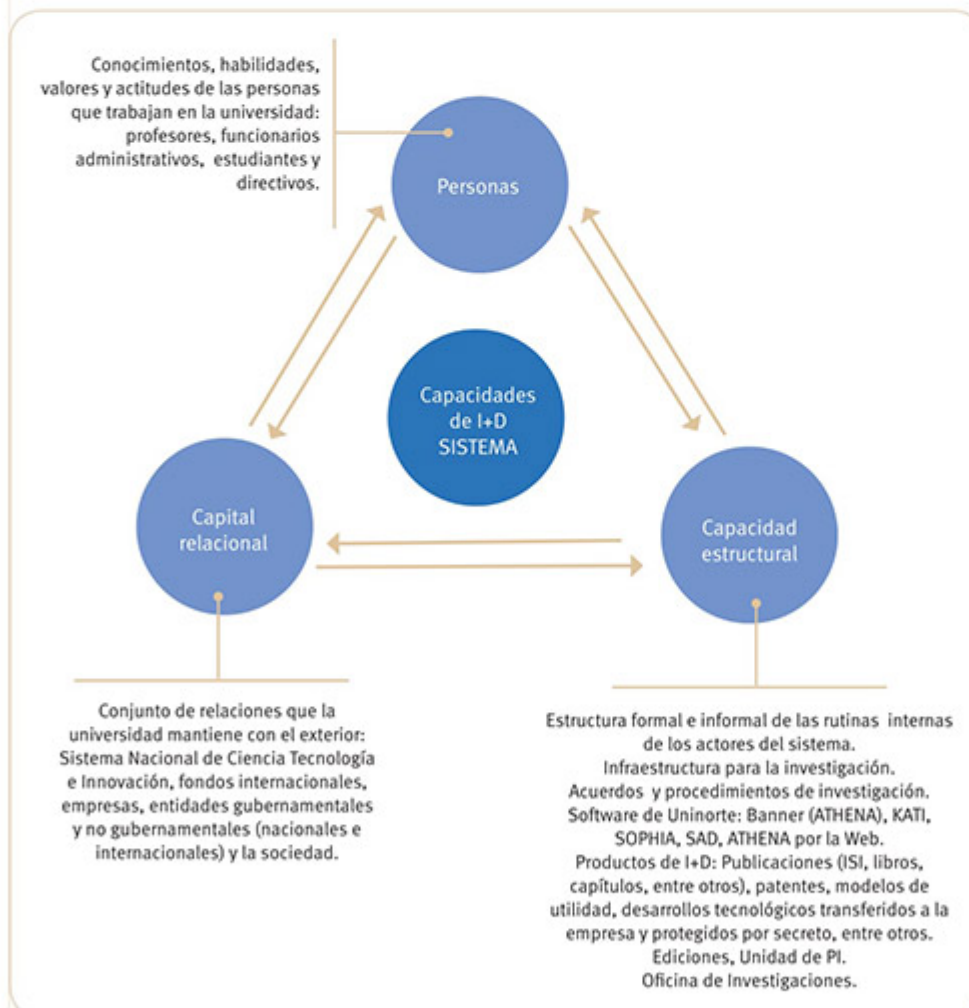


Figura 2.

Modelo de intercambio y creación de conocimiento que sustenta las capacidades del Sistema de Investigaciones de la Universidad del Norte.

Adaptado por el autor de: Sveiby, K.E. (2001). "A Knowledge based theory of the firm to guide strategy formulation", en: *Journal of Intellectual Capital*, vol. 2, no 4.

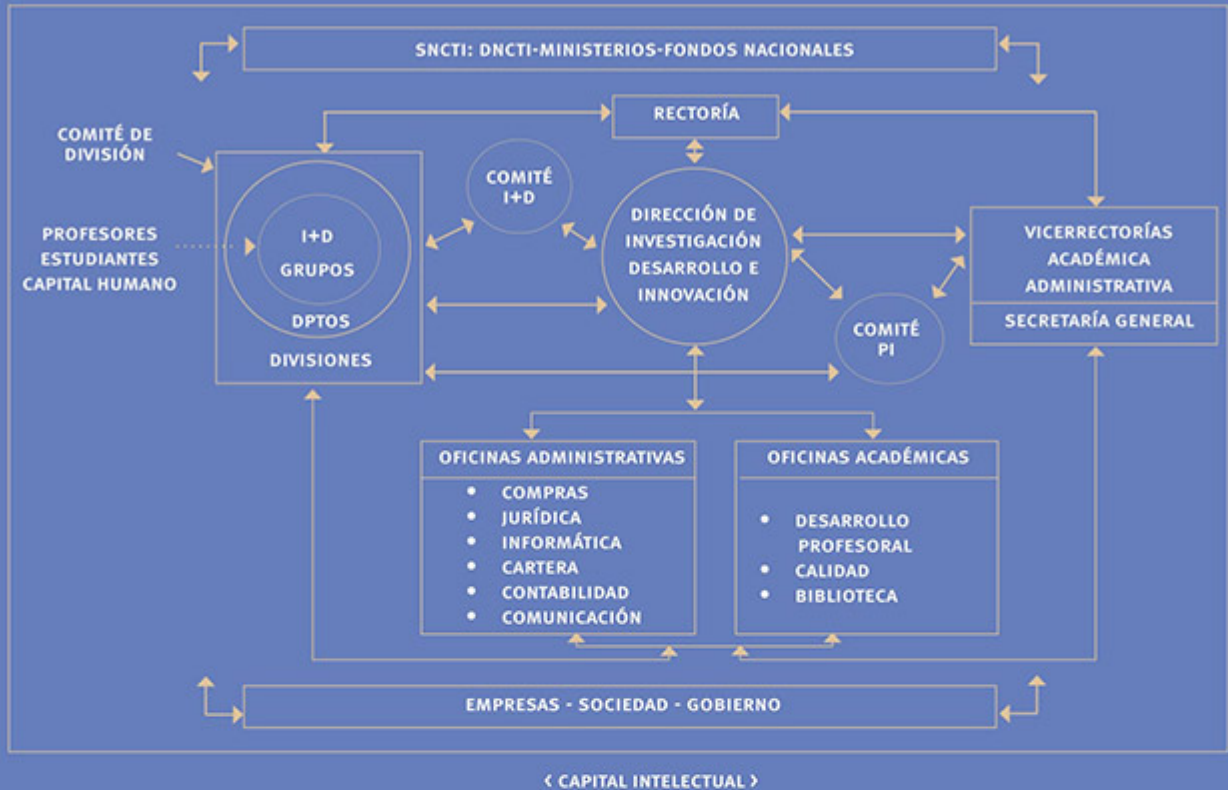


Figura 3.

Descripción de las relaciones de capital entre las personas, la estructura interna y la estructura externa para la investigación de la Universidad del Norte.

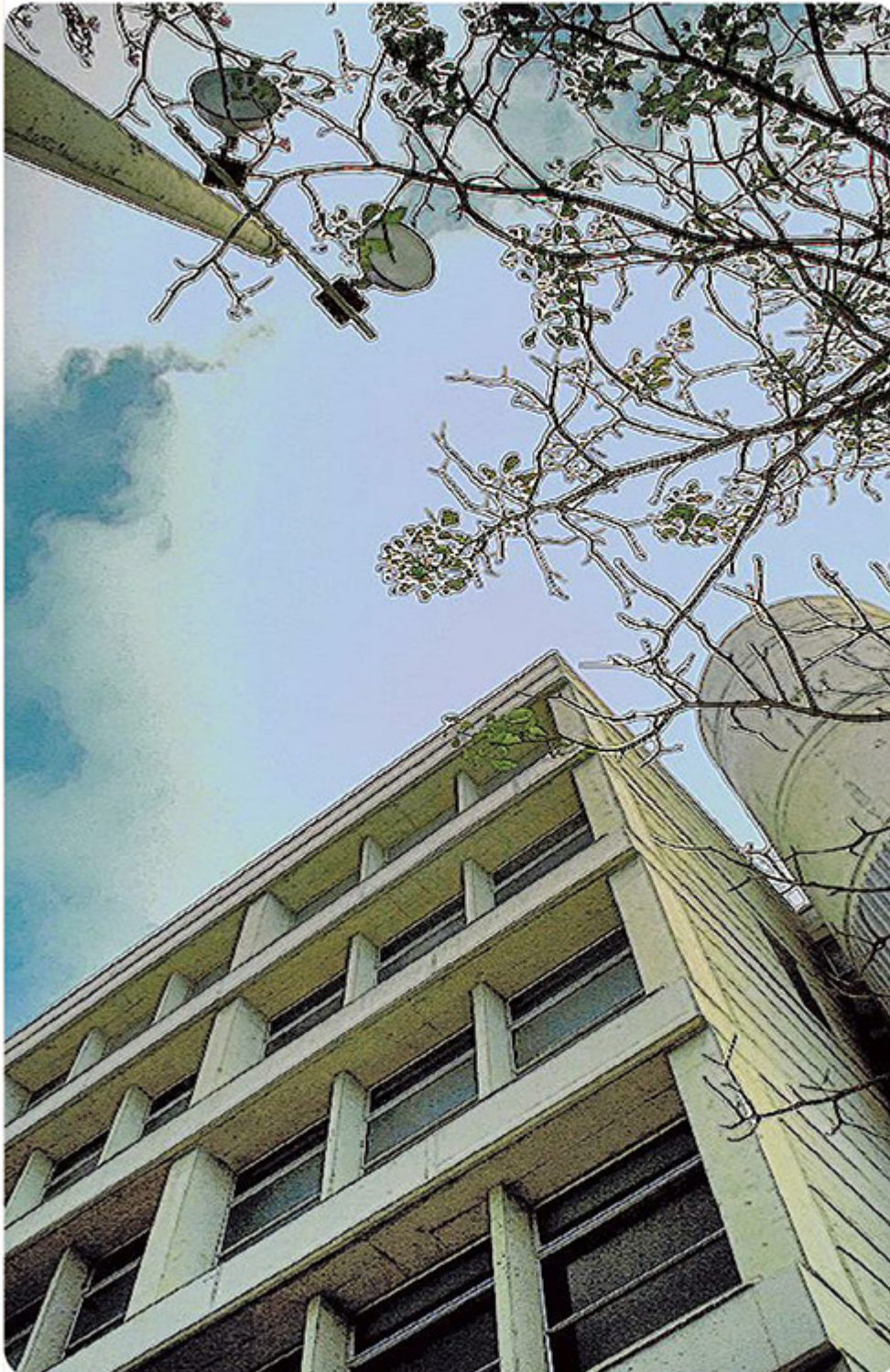
Referencias

- Abello, R. (2007). "Factores claves en las alianzas Universidad - Industria como soporte en la productividad de la industria local: Hacia un modelo de desarrollo social sostenible", en *Investigación & Desarrollo*, (Vol. 15, No. 1), pp. 208-225.
- Abello, R. (2004). "La universidad un factor clave para la gestión tecnológica empresarial", en *Pensamiento y Gestión* (No. 16), pp. 28-42.
- Abello, R. (2008). "Las capacidades de especialización del Sistema de Investigaciones de la Universidad del Norte: SIUN - reflexión suscitada por la especialización del sistema y los retos estratégicos de una universidad orientada a la investigación", en *Catálogo de Investigaciones 2005 - 2007*, pp. 1-5.
- Bolaño, A. y Abello R. (2004). "Análisis de la gestión de I+D en las universidades privadas colombianas", *Investigación & Desarrollo*, (Vol. 12, No. 2), pp. 342-371.
- Frischmann, B. M. (2005). "Commercializing university research systems in economic perspective: A view from the demand side", en *Advances in the Study of Entrepreneurship, Innovation and Economic Growth*, (Vol. 16), pp. 155-186.
- Grablowitz, A; Rudelof, M y Voss, G. (2002). "A case study on research for sustainable management: The funding priority "Corporate instruments for sustainable management", en *International Journals of Sustainability in Higher Education*, Vol. 3, Iss. 1, p. 75.
- Lester, R. K., & Piore, M. J. (2004). *Universities as public spaces in Innovation: The missing dimension*, Cambridge, MA: Harvard University Press.

Neave, G. (2002). "Managing researches or researches management?", en *Higher Education Policy and Management*. Vol. 15, Iss. 3, p 93.

Mintrom, M. (2008) "Managing the research function of the university", en *Journal of Higher Education Policy and Management*. Vol. 30, Iss. 3 pp. 231- 244

Sveiby, K. (2001). "A Knowledge based theory of the firm to guide strategy formulation", en *Journal of Intellectual Capital* . Vol 2 Iss. 4, pp. 118-131.



© Alexander Cano

Sitios web



Facultad de Ciencias Exactas
y Naturales de la Universidad
de Buenos Aires,

[http://exactas.uba.ar/extension/
display.php?estructura=4&desarrollo=
o&id_caja=65&nivel_caja=2](http://exactas.uba.ar/extension/display.php?estructura=4&desarrollo=o&id_caja=65&nivel_caja=2)

Es interesante consultar esta página de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires, pues muestra la forma como una universidad suramericana realiza divulgación de la ciencia en forma de noticias, artículos, entrevista y datos sobre sitios de divulgación de la ciencia, así como a través de la revista electrónica *EXACTamente*.



E-CIENCIA

<http://www.cienciadigital.es/>

Los portales de divulgación científica 10ocia (www.10ocia.com) y Divulc@t (www.divulcat.com) se han unido para el desarrollo de E-CIENCIA. En este sitio se encuentran noticias sobre ciencia, artículos de divulgación, reflexiones sobre divulgación científica, direcciones de sitios en la red, así como juegos, datos y curiosidades sobre ciencia. Presenta espacios donde los lectores pueden comentar el contenido y ofrecer sus opiniones.

Centro Virtual de Divulgación de las Matemáticas, DivulgaMat

<http://divulgamat.ehu.es/weborriak/cultura/Teatro/Calculus.asp>

Esta página del Centro Virtual de Divulgación de las Matemáticas, DivulgaMat, corresponde al esfuerzo por mostrar que las matemáticas no solamente pueden ser divertidas sino que están presentes en la cultura desde siempre y que todos podemos acercarnos a ellas de una manera amable a través de la historia y de los libros de divulgación. Justamente, en la portada, se presenta una reseña muy completa de la obra de teatro de Carl Djerassi: Calculus.

Cienciateca

<http://www.cienciateca.com/>

Esta es la página de uno de los investigadores españoles más destacados que realiza divulgación de la ciencia como proyecto personal y también de su grupo de investigación, pues está convencido de que ésta es una labor que debe ser realizada, en principio, por quienes producen conocimiento científico. Al respecto dice en su página:

-¿Es posible compaginar la investigación básica, la investigación aplicada y la divulgación científica dentro de un mismo grupo? Yo creo que al menos se debe intentar. Y eso es precisamente lo que intento transmitir a mis estudiantes. Por una parte los científicos tenemos que lograr que nuestros conciudadanos entiendan porqué nuestra investigación es tan importante. Pero también debemos aspirar a conseguir que el público descubra de qué va la ciencia, lo que puede y lo que no puede hacer, su profundo impacto en nuestra sociedad tecnológica y en sus vidas. Y además, siempre resulta gratificante compartir con otros la admiración y el asombro ante un nuevo descubrimiento.



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



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					
DIRECCIÓN						4 EJEMPLARES					
DIRECCIÓN						A PARTIR DEL NÚMERO					
TELÉFONO			FAX		CELULAR		CC. O NIT.				
CIUDAD			CORREO ELECTRÓNICO								
PROFESIÓN			ESPECIALIDAD								
FORMA DE PAGO			EFECTIVO <input type="checkbox"/>			TARJETA DE CRÉDITO N°			ACEPTO RENOVACIÓN AUTOMÁTICA SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>		
DINERS <input type="checkbox"/>			VISA <input type="checkbox"/>			MASTER CARD <input type="checkbox"/>			AMERICAN EXPRESS <input type="checkbox"/>		
VENGE			CUOTAS			NÚMEROS DE SEGURIDAD					
CHEQUE <input type="checkbox"/>			CHEQUE N°			BANCO					

Consignación a nombre de «Asociación Colombiana para el avance de la Ciencia» en:
Banco de Occidente, cuenta de ahorros N° 26880746-8 • 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
innovacionyciencia@acac.org.co
Bogotá, Colombia • Más \$5.000, costo de envío fuera de Bogotá

FIRMA