

Innovación y Ciencia

Volumen XXIII • Nº 1 • Colombia • www.innovacionyciencia.com

23 años continuos
de divulgación
científica a través
de la revista
Innovación y
Ciencia.



ASOCIACIÓN COLOMBIANA
PARA EL AVANCE DE LA CIENCIA



SENNOVA tiene el propósito de fortalecer los estándares de calidad y pertinencia, en las áreas de investigación, desarrollo tecnológico e innovación, de la formación profesional impartida en la Entidad.



REVISTA INNOVACIÓN Y CIENCIA

VOLUMEN XXIII N° 1 - 2016

PUBLICACIÓN DE:

Asociación Colombiana para
el Avance de la Ciencia - ACAC

JUNTA DIRECTIVA ACAC

Eduardo Posada Floréz - Presidente
Elena Evguenieva Stachenko
Ángela Stella Camacho de Galán
Moisés Wasserman Lerner
Helena Groot de de Restrepo
María Mercedes Zambrano Eder
Horacio Torres Sánchez
Marcelo Riveros Rojas
Academia Colombiana de Ciencias Exactas,
Físicas y Naturales ACCEFYN
Instituto Humbolt de Colombia
Pontificia Universidad Javeriana
Centro Interactivo Maloka

PRESIDENTE

Eduardo Posada Flórez

DIRECTORA EJECUTIVA

María Piedad Villaveces Niño

SUBDIRECTOR INNOVACIÓN Y COMUNICACIONES

Francisco González Estay

EDITORIA

María Fernanda Gutiérrez

ASISTENTES EDITORIALES

Pablo Sánchez

María Ángela Cortés

CONSEJO EDITORIAL INTERNACIONAL

Sergio Torres Arzayus

DIAGRAMACIÓN

Kilka Diseño Gráfico

CORRECCIÓN DE ESTILO

Nelson David Mayorga Perdomo

IMPRESIÓN

Nomos Impresores

FOTOGRAFÍA

Autores y Bancos de Imágenes

INDEXADA

LATINDEX (Incluida en el Sistema Regional
de Información en Línea para las Revistas
Científicas de América Latina, El Caribe,
España y Portugal)



23 AÑOS CONTINUOS DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA A TRAVÉS DE LA REVISTA INNOVACIÓN Y CIENCIA

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
de la Editora. 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 la Editora o la del Comité Editorial.

Resolución Ministerio de Gobierno N° 5447 del 9 de octubre de 1992

ISSN 0121-5140

ACAC - Carrera 16 N° 31 A-36

Bogotá D.C., Colombia

Teléfono: 432 0370

Email: pablo.sanchez@acac.org.co

LA VACUNA CONTRA LA MALARIA: UN GRAN DESAFÍO PARA LA HUMANIDAD

6

JULIÁN A. CHAMUCERO MILLARES



GAMIFICACIÓN: ¿MECANISMO EFECTIVO PARA PROMOVER EL COMPROMISO CÍVICO Y GENERAR CONFIANZA?

18

JESÚS EDUARDO CORONADO ESCOBAR



LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL Y COLOMBIA ¿QUÉ PODEMOS HACER?

26

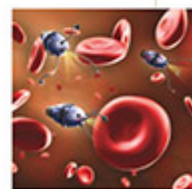
JORGE IVÁN BONILLA LEÓN



NANOTECNOLOGÍA COMO ALTERNATIVA EN EL TRATAMIENTO DEL CÁNCER

36

LUIS JAVIER MARTÍNEZ
ÁNGEL VALENTÍN MOLINA



Índice

Innovación y Ciencia Volumen XXIII N° 1 - 2016

LA REVISTA INNOVACIÓN Y CIENCIA PASA A ESTAR "A UN SOLO CLIC"

42

MARÍA ÁNGELA CORTÉS



AEDES AEGYPTI, MOSQUITO TRANSMITIENDO MAS Y MAS VIRUS: EL ZIKA, SU CUARTO PASAJERO

48

MARÍA FERNANDA GUTIÉRREZ



LOS EXPERIMENTOS MENTALES COMO RECURSO EPISTEMOLÓGICO EN LA FÍSICA

54

LUCERO ÁLVAREZ MIÑO



UNA MIRADA AL CULTIVO DE LOS PEPINOS DE MAR Y SU IMPORTANCIA ECOLÓGICA Y ECONÓMICA

62

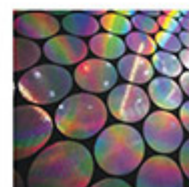
ADRIANA RODRÍGUEZ FORERO



HOLOGRAMAS COLOMBIANOS, LOS MEJORES DEL MUNDO. UNA HISTORIA DE VIDA, DE INNOVACIÓN Y DE TRABAJO

70

MARÍA ÁNGELA CORTÉS



De papel a electrónico

En 1991, mientras que el país fue testigo del cambio de Constitución, un grupo de líderes estaban preocupados porque la sociedad Colombiana, que tendría una nueva carta política, se diera cuenta de la importancia de la ciencia, la tecnología y la innovación como un factor determinante para el desarrollo.

Fue así como en la Unidad Camilo Torres de la Universidad Nacional de Colombia, en donde tuvo sus oficinas la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia, esos pioneros se reunieron para crear la revista "Innovación y Ciencia", una publicación dedicada a divulgar el conocimiento científico para que profesionales de todas las disciplinas o estudiantes pudieran conocer lo que estaba pasando en la ciencia, la tecnología y la innovación en Colombia y en el mundo.

Entre 1991 y octubre de 1992, el médico Mauricio Pérez, se encargó de consolidar la producción de la primera edición. Para ello conformó un equipo editorial con Nohora Elizabeth Hoyos, Alberto Ospina, Eduardo Posada y Raquel Rodríguez y lideró la recolección de artículos de astronomía, medicina, informática, genética, física y biología. La primera edición se publicó en octubre de 1992 y se vendió a \$2.000 pesos.

Exaltaron ese esfuerzo León Lederman, premio Nóbel de Física, Noemí Sanín, Ministra de Relaciones Exteriores, William Jaramillo, Ministro de Comunicaciones, Humberto de la Calle Lombana, Ministro de Gobierno, Guillermo Hoyos, director de los programas curriculares de filosofía de la Universidad Nacional y Jorge Acevedo, Director del Instituto Ser.

Con ese impulso la ACAC y el editor de la revista Mauricio Pérez trabajaron con disciplina y perseverancia para entregar al público en general revistas trimestrales. En el 2006 el doctor Pérez renunció a su labor como editor y ACAC, bajo el liderazgo de su directora Carmen Helena Carvajal, rediseñó la revista y la responsabilidad editorial pasó al Presidente de la ACAC, Eduardo Posada. En el 2008 Germán Cubillos tomó las riendas de la misma y como coordinador editorial trabajó de manera comprometida hasta el 2013, año en el cual empezó su labor la actual editora de la revista, María Fernanda Gutiérrez.

Estamos en el 2016. Han pasado varios años desde que se inició el siglo XXI conocido también como la "Era del Conocimiento". Con la popularización del "www" las comunicaciones en el mundo cambiaron aumentando la capacidad que cada individuo tiene de relacionarse con personas de todos los rincones del planeta. Ya comunicarse entre Colombia y Finlandia sólo requiere de un computador, una conexión a internet y un software que transmite, no sólo voz, sino imagen. En ese nuevo contexto de la "Era del Conocimiento", la ACAC quisiera anunciar que desde el 2015 tomó la decisión de hacer una transformación de la revista "Innovación y Ciencia" de un formato en papel a un formato electrónico. Lo anterior con el fin de poder estar mucho más presente en la red mundial de la tecnología de la información.

Por ello, la presente es la última edición de la revista "Innovación y Ciencia" en el formato únicamente de papel que tuvimos desde 1992. Se espera que con el mismo entusiasmo y la misma disciplina, la revista mantenga sus cuatro ediciones anuales, pero que en lugar de poderse consultar solamente por los asociados de ACAC o los suscriptores a la revista, ésta se pueda consultar en todos los rincones del mundo a través del portal que estructuramos: www.innovacionyciencia.com.

Para dar ese paso, el equipo de ACAC se dio la tarea de enviar a medio magnético todos los artículos que se han publicado desde 1992 en la revista. Esto ayudará a las consultas que puedan tener nuestros lectores sobre temas específicos.

Esperamos que este paso sea de gran trascendencia para fortalecer el objetivo de la revista Innovación y Ciencia: la divulgación del conocimiento científico y tecnológico nacional e internacional.

María Piedad Villaveces

Directora Ejecutiva

Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia

OFERTA EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

- La Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia - ACAC, entidad sin ánimo de lucro que trabaja por el fomento y apropiación social de la ciencia en Colombia, ha desarrollado en los últimos años la línea de evaluación de proyectos de investigación.
- Con este proceso ACAC ofrece a entidades, públicas, privadas y universidades la revisión de los proyectos que se postulan a sus convocatorias internas, para que obtengan resultados confiables a partir del concepto de profesionales especializados en las áreas del conocimiento que la entidad requiere.

ESTA PROPUESTA DE TRABAJO INCLUYE:

1. Definición del cronograma de trabajo a partir de la cantidad y complejidad de los proyectos.
2. Recepción de documentos a evaluar, los cuales ingresan a la plataforma virtual diseñada por la Asociación, para garantizar la transparencia y agilidad del proceso.
3. Búsqueda de evaluadores expertos investigadores con altos estándares académicos y profesionales, en los temas solicitados por la entidad.
4. Desarrollo del proceso de evaluación a través de la plataforma virtual y verificación de requisitos en el diligenciamiento del formato por parte de los evaluadores.
5. Garantía sobre el cumplimiento de los cronogramas acordados.
6. Entrega de resultados consolidados a través de una matriz, así como un informe ejecutivo de análisis de toda la actividad, que incluye recomendaciones para la entidad.



Informes

Tel.: +57 (1) 432 0370 Cel.: +57 316 529 7881 - Correo electrónico: acup@acac.org.co

Página web: www.acac.org.co

► FORMATO DE PRESENTACIÓN DE ARTÍCULOS PARA LA REVISTA



► INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

La revista INNOVACIÓN Y CIENCIA es una revista de divulgación científica, que tiene como propósito contribuir con una mejor apropiación social de la ciencia, compartiendo con sus lectores temas de ciencia, tecnología e innovación. Este es el principal motivo por el cual la redacción de los artículos, así como el tipo de idioma usado en su escritura, debe ser sencillo, apto para todo tipo de público. En caso de estar interesado en publicar artículos con resultados de una investigación, lo podrá hacer teniendo en cuenta que no se exige el formato propio de las revistas de difusión de la ciencia.

► PASOS A SEGUIR SI DESEA ENVIAR UN ARTÍCULO:

Escriba el artículo en formato Word, letra Arial, tamaño de letra 12, separación entre renglones 1,5 y con una máxima extensión del documento de seis páginas.

Respecto al autor o los autores, debe colocar su título universitario, su actividad, el lugar donde trabaja y su correo electrónico.

El artículo debe incluir un resumen de máximo ocho renglones, separado del documento, donde se explique brevemente el contenido del mismo y se motive a su lectura. Al finalizar el documento, debe incluir unas conclusiones, las cuales no deben estar separadas del documento.

Todos los artículos deben contener la bibliografía respectiva, la cual debe estar al final del artículo, pero citada numéricamente en los párrafos que corresponda. Recuerde que no citar es considerado plagio.

El formato que se utiliza para el manejo de la bibliografía es Vancouver. Más adelante encontrará ejemplos de este formato.

Si el documento tiene una o dos frases que usted desee resaltar, por favor resáltelas en el texto. La revista se encargará de colocarlas en recuadros con color. Incluya en el documento gráficas, figuras, fotos o tablas, las cuales faciliten su lectura y lo hagan más ameno. Tenga en cuenta que las fotos y figuras deben tener el nombre completo del autor y, en caso de que el autor del artículo no sea el autor de las fotografías o figuras, se debe enviar una carta de autorización del dueño en la que permita su publicación. Las fotos, figuras o gráficas, deben venir con su leyenda explicativa y no forman parte de las seis páginas del escrito, aunque vengan incluidas en él.

► FIGURAS:

Las figuras que acompañan el texto deberán contener su explicación. Inicie con la palabra Figura y coloque el número que le corresponde. Este debe ser el mismo que se encuentre en el texto. Luego describa en una frase el contenido de la figura. Coloque al final el autor de la figura o la fuente de donde la obtuvo. No extraiga figuras de páginas de Internet que no cuentan con permisos de uso.

► FOTOS:

Las fotos que acompañan los documentos, al igual que las figuras, deberán estar citadas, nombradas e incluir a quien pertenecen. Las fotografías que se publiquen en la revista deben tener una resolución de 300 ppp, un tamaño mínimo de 1200X1200 píxeles y deben ser enviadas en formato jpg.



Innovación y Ciencia

► GRÁFICAS:

Las gráficas que acompañan los documentos deberán estar citadas e incluir, además, el programa con el cual fueron elaboradas.

► PUBLICACIÓN:

Envíe el artículo por internet al correo electrónico: innovacionyciencia@acac.org.co. Los artículos podrán ser enviados todo el año. Ellos serán revisados por el Editor, quien verificará la forma en la cual se encuentra escrito y si cumple con las normas para su publicación. Una vez realizada esta primera lectura será enviado al Comité Editorial, quien se encargará de dar su opinión respecto a la publicación. La revista tiene cuatro ediciones al año, de tal manera que su documento, en caso de ser publicado, iría en el número en que exista el espacio suficiente para su publicación.

► REFERENCIAS:

Las citas bibliográficas dependerán de la fuente de la cual usted haya tomado la información a citar. Estas deben ser colocadas en el texto con el número correspondiente entre paréntesis. Ej. (1)

- En caso de citar un artículo, utilice el formato Vancouver. A continuación un ejemplo:

Gutierrez M, Matiz A, Ulloa J, Alvarado M. Astrovirus (HAsTV) como agente causal de diarrea en niños Colombianos: Siete años de estudio. Nova: publicación científica. 2005;3(3):1-20

- En caso de ser un documento de Internet

García L. La vida en Marte. Una visión simplista. Revista de Ciencia y Tecnología de la Universidad de Paso. Disponible en: <http://www.universidaddelpaso.edu.fg>. Consultado Abril 2006

- En caso de ser un libro

Castano M., Cultivos Celulares. En: Urcuqui, S., Ossa, J. Principios de Virología. Fondo editorial Biogenesis, Cuarta edición, Cap. III 29-46 (2008)

- En caso de requerir mayor información, puede remitirse a:

Patiño G. Citas y referencias bibliográficas. Pontificia Universidad Javeriana. Segunda edición (2005)

A full-page photograph of a female scientist in a laboratory. She is wearing a blue surgical cap, a light blue face mask, and green lab scrubs. She is wearing white gloves and using a white and black pipette to transfer liquid into a small glass vial. A large, white and black compound microscope is positioned in front of her. The background is a bright, clean laboratory with other equipment and a person in white lab gear visible in the distance.

LA VACUNA CONTRA LA MALARIA: UN GRAN DESAFÍO PARA LA HUMANIDAD

JULIÁN A. CHAMUCERO MILLARES

MÉDICO CIRUJANO
INTERNADO CON ÉNFASIS EN INVESTIGACIÓN

jachamucero@unal.edu.co

INTRODUCCIÓN

La malaria es la enfermedad infecciosa parasitaria de mayor impacto en la salud pública global, afectando el 40% de la población en 97 países de América Central y del Sur, Asia y África subsahariana. Según datos de la Organización Mundial de la Salud, para el año 2013 se presentaron 198 millones de casos de los cuales 584.000 fueron fatales; sin embargo, se estima que el sub registro es tan alto que las cifras reales alcanzarían los 283 millones de casos anuales y de 700.000 a un millón de muertes al año, de los cuales la gran mayoría son niños menores de 5 años y mujeres primigestantes (1).

Esta infección se transmite de persona a persona y el agente causal es un parásito protozoo del género *Plasmodium*, el cual es transmitido al ser humano por la hembra del mosquito *Anopheles*. Si bien existen cientos de especies de *Plasmodium*, clásicamente se reconocen cuatro especies causantes de la enfermedad en los seres humanos: *Plasmodium falciparum*, responsable del 90% de las muertes; *Plasmodium vivax*, el de mayor distribución geográfica; *Plasmodium ovale* y *Plasmodium malariae*; recientemente se ha identificado una quinta especie, el *Plasmodium knowlesi*, propia de la infección en monos que se ha transmitido a los seres humanos en el Sudeste Asiático (4, 5, 6, 12, 13, 15, 22).

Clínicamente la malaria se reconoce por ser una enfermedad febril aguda, cuyos síntomas aparecen aproximadamente entre 12 y 15 días después de la picadura del mosquito y que se caracteriza por ciclos de fiebre, dolores musculares y articulares (mialgias y artralgias), cefalea y náuseas. Estas manifestaciones pueden ser leves en personas que ya han desarrollado inmunidad por habitar zonas de alta o moderada transmisión, o graves y fatales en individuos no inmunes en los que se incluye el desarrollo de la malaria cerebral y la anemia severa.

Ciclo de vida del parásito

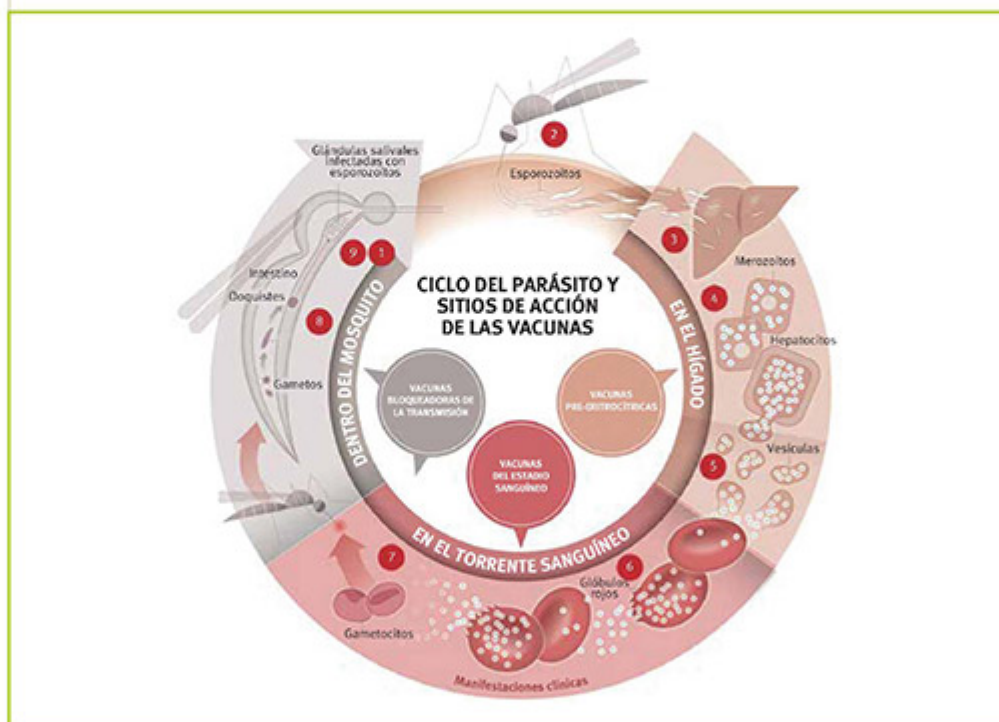
El ciclo de vida del *Plasmodium* fue descubierto en 1950 por Ignace Vincke y sus colaboradores quienes describieron el desarrollo del *Plasmodium* en la hembra del mosquito *Anopheles* como hospedero definitivo y al hombre como huésped. En breve, y siguiendo paso a paso la Gráfica 1, este ciclo contempla (1) la formación de una reserva de esporozoitos (forma móvil del *Plasmodium*) en las glándulas salivales del mosquito *Anopheles*, (2) la hembra del mosquito pica al individuo e inocula cerca de 10 a 300

esporozoitos en el cuerpo anfitrión, (3) luego de aproximadamente 60 minutos, los esporozoitos pasan de la piel a la sangre y (4) alcanzan el hígado, donde ocurre la invasión de las células hepáticas. (5)

Dentro de los hepatocitos, los esporozoitos se reproducen y alcanzan cifras de 20.000 a 40.000 parásitos que, para dicho momento, se han transformado en merozoitos (la forma invasiva del *Plasmodium*), los cuales son liberados al torrente sanguíneo y en poco tiempo (6) interactúan e invaden los glóbulos rojos o eritrocitos. Dentro de los estos últimos, los merozoitos presentan una serie de transformaciones, provocan la destrucción de esta célula sanguínea y se liberan para continuar el ciclo de invasión a otros eritrocitos.

Este fenómeno de invasión, multiplicación, explosión y re-invasión se da cada 48 a 72 horas y se corresponde con la aparición de manifestaciones clínicas de la enfermedad y su paso a la anemia por pérdida no controlada de glóbulos rojos. Por otro lado (7), una población de los parásitos liberados se transforma en gametocitos, los cuales son retomados por el mosquito ante una nueva picadura y (8), dentro del intestino de éste, ocurre la división sexual del parásito para que, finalmente (9), los esporozoitos gestados se transfieran y almacenen en las glándulas salivales para comenzar nuevamente el ciclo.

FIGURA 1.
CICLO DEL PARÁSITO Y SITIOS
DE ACCIÓN DE LAS VACUNAS.
MODIFICADO Y TRADUCIDO AL
ESPAÑOL
([HTTP://WWW.MALARIAVACCINE.ORG/MALVAC-LIFECYCLE.PHP](http://www.malariavaccine.org/malvac-lifecycle.php)).



Algunos aspectos de la biología del parásito

En 2002 fue dilucidada la estructura genética del parásito caracterizada por la presencia de 14 cromosomas (a diferencia del ser humano, que tiene 23 pares de cromosomas) con aproximadamente 5.500 genes estructurados en su interior y que portan el código de información que permite la síntesis de múltiples proteínas necesarias para la supervivencia del parásito, y cuyas funciones específicas permanecen inciertas en su gran mayoría. Uno de los grandes desafíos en el desarrollo de una vacuna contra la malaria radica en las variaciones (polimorfismos) que sufre dicha información genética durante los ciclos de reproducción celular, y que conlleva a que las vacunas desarrolladas contra una

proteína específica no sean eficientes contra una de las variantes desarrolladas por el parásito durante la división celular. No obstante, diferentes estudios han encontrado que una proteína conocida como proteína CS (hasta el momento la mejor caracterizada, estudiada y probada en ensayos pre-clínicos y clínicos) posee una región conformada por los aminoácidos *asparagina-alanina-asparagina-prolina*, conocida como región NANP, la cual podría ser el blanco de la respuesta inmune y que, además, cuenta con una alta homología entre las distintas especies de *Plasmodium*.

La vacuna contra la Malaria

Desde el maravilloso descubrimiento de la vacunación por Edward Jenner en el año 1798 por los resultados de su investigación con la viruela, las vacunas se han convertido en la mejor estrategia costo-efecto para la prevención de las enfermedades. A pesar de que la incidencia de casos de malaria ha disminuido en un 30% en los últimos 15 años y los de mortalidad en un 47%, el hecho que casi la mitad de la población del planeta (3.300'000.000 de personas) esté en riesgo de contraer la enfermedad y de los devastadores efectos que ella conlleva en la población pediátrica y en las gestantes, sumado a los altos costos que involucran los programas de control hasta el momento desarrollados, hacen que la vacuna contra la malaria sea una prioridad en salud pública.

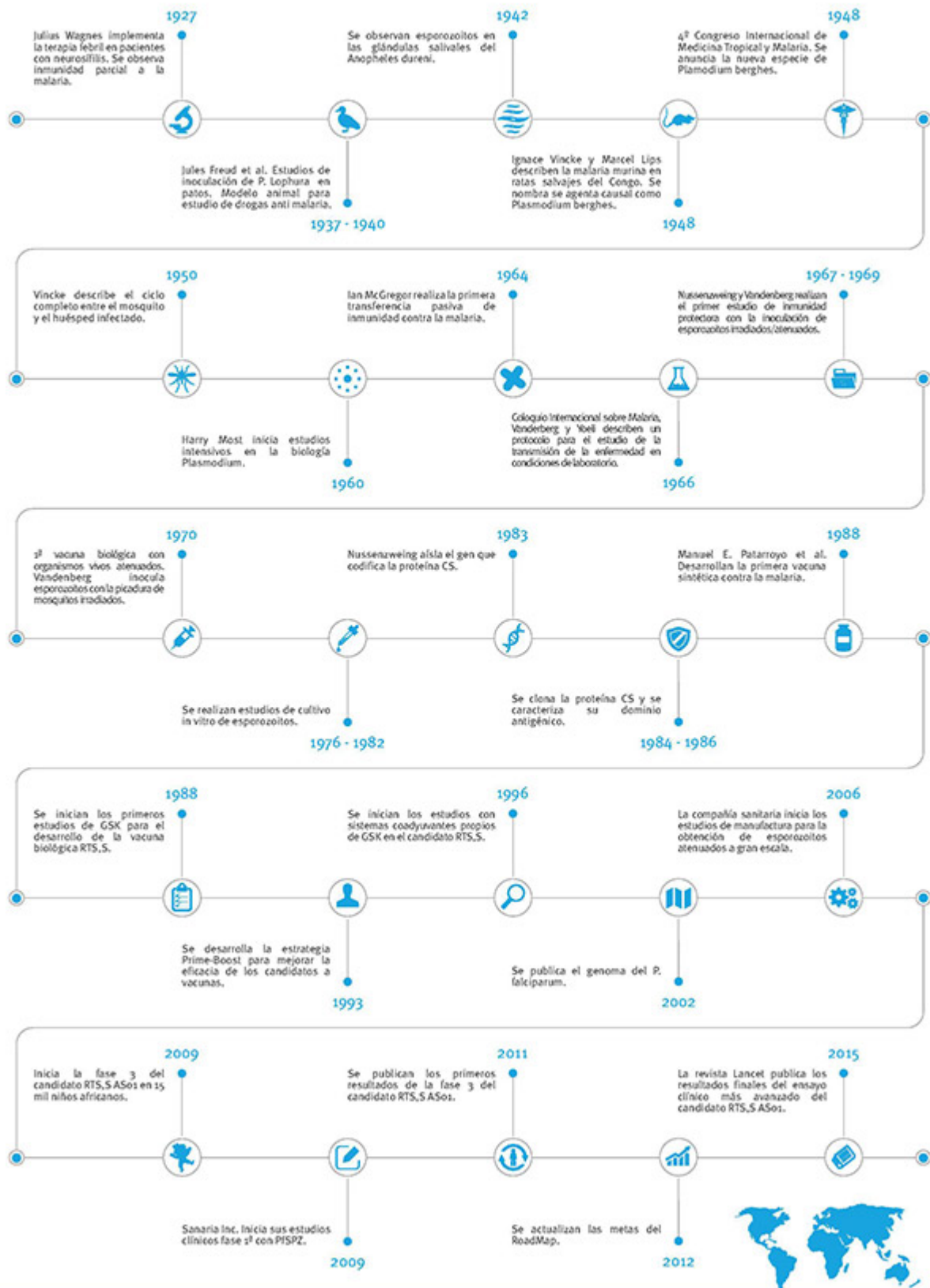
No obstante, a pesar de los avances realizados en 60 años de investigación, hasta el momento no ha sido posible licenciar una vacuna contra la malaria dada una serie de inconvenientes que abarcan desde los limitados recursos económicos destinados a financiar proyectos de investigación hasta el desconocimiento de la biología del parásito y la respuesta inmune del huésped.

Breve historia de la vacuna contra la Malaria

El reconocimiento de la posibilidad de generar inmunidad contra la malaria proviene de las observaciones realizadas entre los años 1927 y 1940, durante los cuales se implementó la terapia febril como estrategia para el tratamiento de la neurosífilis en la era previa al descubrimiento de los antibióticos, que se basaba en la facilidad con la que se destruían las espiroquetas (formas bacterianas propias del agente causal de la sífilis) con la fiebre provocada por la malaria; además, con la exposición permanente de los pacientes sífilíticos, se generaba cierta inmunidad contra la malaria. Hacia 1964 Ian McGregor recolectó muestras de sangre de individuos inmunes (aquellos protegidos contra la enfermedad), extrajo sus anticuerpos y los inoculó en niños y adultos no protegidos, disminuyendo el número de parásitos en sangre y, con ello, la progresión clínica de la enfermedad, hallazgo que evidenciaba un papel importante de la inmunidad.

Consecuentemente, Vanderberg y colaboradores desarrollaron entre los años 1967 y 1970 la primera vacuna biológica contra la malaria, la cual consistía en el uso de esporozoitos atenuados por radiación, es decir, parásitos vivos a los cuales se les había disminuido su potencial de ataque mediante radiación y que posteriormente se inyectaban vía sanguínea en animales de experimentación. Dicha aproximación otorgaba una protección contra la malaria con una tasa de éxito mayor al 94%, por lo que desde entonces este nivel de protección es usado como un referente o "patrón de oro" en el desarrollo de un candidato a vacuna contra la malaria. A pesar de ese gran avance, las dificultades de desarrollar a gran escala dicha aproximación imposibilitaron su implementación práctica. Ante esta dificultad de generar vacunas biológicas, es cuando, alrededor del año 1987, Patarroyo y colaboradores crean la primera vacuna sintética contra la malaria, la denominada SPf66, una vacuna multiestadio (capaz de actuar en cualquier punto del ciclo vital del parásito) y multiantigénica que, inicialmente, probó poseer la eficacia

HITOS EN EL DESARROLLO DE UN CANDIDATO A VACUNA CONTRA MALARIA



más alta hasta el momento conseguida (alrededor del 40%). Durante esta misma década se inician los estudios con una vacuna biológica de segunda generación llamada RTS,S, fabricada por la multinacional farmacéutica GlaxoSmithKline (GSK) en compañía del Instituto de Investigación de la Armada Walter Reed de los Estados Unidos (WRAIR), la cual finalizó la última fase de desarrollo clínico en 2014.

Enfoques para el desarrollo de una vacuna contra la Malaria

El desarrollo de una vacuna contra la malaria incluye el reconocimiento de proteínas del *Plasmodium* con un alto poder antigénico, esto es, elementos susceptibles de ser reconocidos y atacados por el sistema inmune del hospedero. Por este motivo, el principal enfoque para desarrollar vacunas se basa en encontrar estas proteínas en algún momento del ciclo vital del parásito, las cuales inducen la producción de anticuerpos que puedan bloquearlas cuando intente infectar al ser humano.

Vacunas Pre-eritrocitarias o del Estadio Hepático: pretenden bloquear la infección y el desarrollo de la enfermedad inhibiendo la invasión hepática desde el momento de la inoculación. Este momento es esencial ya que la población de esporozoitos inoculados es baja (cientos o menos) en comparación a la de merozoitos (miles a millones) liberados del hígado. Los candidatos a vacunas contra este estadio favorecen dos tipos de respuesta del sistema inmune: por un lado, la formación de anticuerpos que inhiban la invasión de los hepatocitos mediante el bloqueo del esporozoito, y por otro, la generación de un tipo de células llamado linfocitos T que son capaces de eliminar los hepatocitos ya infectados.

TABLA 1: OBJETIVOS DE LA HOJA DE RUTA PARA EL DESARROLLO DE UNA VACUNA CONTRA LA MALARIA

2006	2012
1. Para el año 2015 haber desarrollado una vacuna con eficacia > 50% y una duración > 1 año	1. Para el año 2030 desarrollar una vacuna con una eficacia > 75%
2. Para el año 2025 desarrollar una vacuna con una eficacia > 80% y una duración >4 años	2. Desarrollar una vacuna que reduzca la transmisión del parásito y disminuya la incidencia de la enfermedad

De este tipo de vacunas, la RTS, S/ASo1 es la candidata en período de prueba más avanzada hasta la fecha, superando en cinco a diez años a otros estudios. Su desarrollo se inició bajo la colaboración de dos casas comerciales en EE.UU. en 1987 (GSK y WRAIR); desde entonces se han realizado múltiples esfuerzos para mejorar su efectividad. No obstante, la RTS,S es una vacuna que sólo logra prevenir las manifestaciones clínicas de la enfermedad mas no el control de la infección, y no ha demostrado generar una respuesta específica para detener la progresión de la enfermedad. Esto se evidencia al presentar una eficacia global que no supera el 33% en los niños vacunados. Estos resultados finales de la Fase 3 de investigación fueron publicados en abril de 2015 en la revista *The Lancet*.

Vacunas eritrocitarias: son capaces de bloquear la invasión del eritrocito actuando sobre los merozoitos circulantes. En el momento no hay ningún estudio clínico en Fase 3 que utilice proteínas eritrocitarias y los ensayos clínicos actuales se encuentran limitados a ocho proteínas que, dada su alta variabilidad genética en la población, no han mostrado resultados significativos en el control de la infección o de la enfermedad.

Un ejemplo de este tipo de vacunas fue la SPf66, desarrollada en Colombia en 1987 por el grupo de científicos liderados por Manuel E. Patarroyo, y que tiene el mérito de ser la primera vacuna quími-

camente sintetizada, tener múltiples antígenos, proteger contra varios estadios del *P. falciparum*. Esta vacuna alcanzó la Fase 3 de investigación y mostró una eficacia total promedio de 40% en los países en los que se desarrollaron los estudios clínicos en una población con individuos mayores a un año; sin embargo, la eficacia no fue igualmente reproducible en otras regiones del mundo y no presentó efecto protector en individuos recién nacidos ni menores de un año, por lo que el estudio fue detenido y actualmente se encuentra en progreso.

Vacunas bloqueadoras de la transmisión: sus blancos son los gametocitos tanto en el ser humano como dentro del parásito. Este tipo de vacunas no previenen la infección ni la enfermedad en la persona inmunizada sino la progresión de la enfermedad a otros seres humanos, por lo que generalmente se les conoce con el nombre de *vacunas altruistas*.

Vacunas con organismos completos: como se mencionó previamente, la calidad en el desarrollo de vacunas contra la malaria se basa en la alta tasa de efectividad (> 90%) producida por la inoculación de esporozoitos atenuados; sin embargo, hasta hace pocos años existía consenso de ser una práctica inconcebible como esquema de vacunación de grandes poblaciones. Frente a este reto se encaminó la compañía Sanaria, cuyo grupo de investigadores viene realizando estudios clínicos tempranos desde 2009 luego de desarrollar una técnica para obtener esporozoitos metabólicamente activos (vivos) pero no replicativos (incapaces de reproducirse) a gran escala, comúnmente conocidos como PfSPZ. Este protocolo de producción, patentado y desarrollado bajo estrictas normas de vigilancia y de buenas prácticas de manufactura, incluye la radiación de mosquitos *Anopheles*, la disección de las glándulas salivales y la extracción aséptica (libre de patógenos) de esporozoitos atenuados, su posterior purificación y preservación en frío. Los estudios iniciales se han enfocado en la seguridad, tolerancia, vía de administración, dosis y número de dosis requeridas para generar una carga parasitaria en sangre suficiente para obtener una respuesta inmune.

Conclusiones

1. El desarrollo de una vacuna contra la malaria es la estrategia costo-efecto más importante para el control y posterior erradicación de la enfermedad en el mundo; sin embargo, a pesar de 60 años de investigación, no ha sido posible obtener un candidato que otorgue un efecto protector comparable con el de las vacunas hasta el momento creadas contra virus y bacterias.
2. Los resultados de la primera vacuna químicamente sintetizada en Colombia, la SPf66, fueron prometedores en su momento y han sido unas de las pocas veces donde la investigación se ha extendido por más de 25 años para mejorar su efectividad.
3. A la fecha no existe ninguna vacuna licenciada contra la malaria y el panorama permanece oscuro ante los modestos resultados de efectividad de la candidata RTS, S/ASo1, desarrollada por la multinacional farmacéutica GSK y el WRAIR, y que se configura como la única vacuna en completar la fase de estudio clínico más avanzado en los últimos diez años.
4. Se requiere continuar con estudios que permitan comprender mejor la biología del parásito, la función de sus diferentes proteínas en el proceso de infección y el desarrollo de la enfermedad, las características de la respuesta inmune por parte del huésped y las variables que interfieren con el desarrollo de una vacuna totalmente efectiva.
5. El uso de organismos completos como candidatos a vacunas 50 años después de su primera descripción está mostrando resultados favorables. Se espera el desarrollo de nuevas investigaciones para determinar la efectividad de esta renovada aproximación de vacunación.

REFERENCIAS

1. WHO. World Malaria Report, 2014. Geneva: World Health Organization, 2014.
2. Malaria Vaccine Funders Group. Malaria Vaccine Technology RoadMap. 2006. Disponible en http://www.malariavaccine.org/files/Malaria_Vaccine_TRM_Final_000.pdf. Consultado el día 24 de mayo de 2015.
3. Malaria Vaccine Funders Group. Malaria Vaccine Technology RoadMap. 2013. Disponible en http://www.who.int/immunization/topics/malaria/vaccine_roadmap/TRM_update_nov13.pdf?ua=1 Consultado el día 24 de mayo de 2015.
4. Sharma, S., Pathak, S. Malaria vaccine: a current perspective. *J Vector Borne Dis.* **45**, 1-20 (2008).
5. Mahanty, S., Saul, A. & Miller, L. Progress in the development of recombinant and synthetic blood-stage malaria vaccines. *The Journal of Experimental Biology.* **206**, 3781-3788 (2003).
6. Conway, D. Paths to a malaria vaccine illuminated by parasite genomics. *Trends in Genetics.* **31:2**, 97-107 (2015).
7. Jones, T., Hoffman, S. Malaria vaccine development. *Clinical Microbiology Reviews.* **7:3**, 303-310 (1994).
8. Schwartz, L., Brown, G., Genton, B. & Moorthy, V. A review of malaria vaccine clinical projects based on the WHO rainbow table. *Malaria Journal.* **11**, 11 (2012).
9. Ellis, R., Sagara, I., Doumbo, O. & Wu, Y. Blood stage vaccines for *Plasmodium falciparum*. *Human vaccines.* **6:8**, 627-634 (2010).
10. Hoffman, S., Billingsley, P., James, E., Richman, A., Loyevsky, M., et al. Development of a metabolically active, non-replicating sporozoite vaccine to prevent *Plasmodium falciparum* malaria. *Human vaccines.* **6:1**, 97-106 (2010).
11. Mordmüller, B., Supan, C., Gómez Pérez, G., Held, J. et al. Direct venous inoculation of *Plasmodium falciparum* sporozoites for controlled human malaria infection: a dose-finding trial in two centres. *Malaria Journal.* **14**, 117 (2015).
12. Crompton, P., Pierce, S. & Miller, L. Advances and challenges in malaria vaccine development. *J Clin Invest.* **120:12**, 4168-4178 (2010).
13. Vanderberg, J. Reflections on Early Malaria Vaccine Studies, the First Successful Human Malaria Vaccination, and Beyond. *Vaccine.* **27:1**, 2-9 (2009).
14. Grey, D. The malaria vaccine – Status quo 2013. *Travel Medicine and Infectious Disease.* **11**, 2-7 (2013).
15. Thera, M., Plowe, C. Vaccines for Malaria: How Close Are We? *Annu Rev Med.* **63**, 345-357 (2012).
16. Dunachie, S. & Hill, A. Prime-boost strategies for malaria vaccine development. *The Journal of Experimental Biology.* **206**, 3771-3779 (2003).
17. Birkett, A., Moorthy, V., Loucq, C., Chitnis, Ch. & Kaslow, D. Malaria vaccine R&D in the Decade of Vaccines: Breakthroughs, challenges and opportunities. *Vaccine.* **31**, 233-243 (2013).
18. Duffy, P., Sahu, T., Akue, A., Milman, N. & Anderson, C. Pre-erythrocytic malaria vaccines: identifying the targets. *Expert Rev Vaccines.* **11:10**, 1261-1280 (2012).
19. Lyke, K., Laurens, M., Adams, M., Billingsley, P., Richman, A. et al. *Plasmodium falciparum* Malaria Challenge by the bite of Aseptic *Anopheles stephensi* Mosquitoes: Results of a Randomized infectivity Trial. *PLoS ONE.* **5:10**, e13490 (2010).
20. Patarroyo, M., Bermúdez, A. & Moreno, A. Towards the development of a fully protective *Plasmodium falciparum* antimalarial vaccine. *Expert Rev. Vaccines.* **11:9**, 1057-1070 (2012).
21. Sheehy, S., Spencer, A., Douglas, A., Longley, R., et al. Optimising Controlled Human Malaria Infection Studies Using Cryopreserved *P. falciparum* Parasites Administered by Needle and Syringe. *PLoS ONE.* **8:6**, e65960 (2013).

- 
22. Patarroyo, ME., Amador, R., Clavijo, P., Moreno, A., et al. A synthetic vaccine protects humans against challenge with asexual blood stages of *Plasmodium falciparum* malaria. *Nature*. **332**, 158-161 (1988).
 23. Schofield, L., Villaquiran, J., Ferreira, A., Schellekens, H., Nussenzweig, R. & Nussenzweig, V. Gamma interferón, CD8+ T cells and antibodies required for immunity to malaria sporozoites. *Nature*. **330**, 664-666 (1987).
 24. Ballou, W., & Cahill, C. Two decades of Commitment to Malaria Vaccine Development: GlaxoSmithKline Biologicals. *Am J Trop Med Hyg*. **77**, 289-295 (2007).
 25. RTS,S Clinical Trials Partnership. Efficacy and safety of RTS, S/ASo1 malaria vaccine with or without a booster dose in infants and children in Africa: final results of a phase 3, individually randomised, controlled trial. *Lancet* 2015; publicado en línea el 24 de abril. [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)60721-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(15)60721-8)

OFERTA ACADÉMICA CURSOS 2016

Marco lógico

30 horas

Transferencia tecnológica

30 horas

**¿Cómo mejorar el impacto
de los jóvenes investigadores?**

12 horas

**Presupuesto,
cronograma y flujo de caja**

30 horas

Variables estadísticas

40 horas

**Escritura de artículos
científicos y tecnológicos**

40 horas

**Metodología
de la investigación**

40 horas

**Presentaciones científicas:
algunos aspectos a considerar**

12 horas

Protección del conocimiento

100 horas

**Revisión sistemática e
Investigación Cualitativa y
software para su uso**

12 horas

**Bibliometría:
fundamentos y aplicaciones
para la evaluación científica**

30 horas

**Acreditación
centrada en la investigación:
La experiencia de ACAC**

24 horas

INFORMES

Tel.: +57 (1) 432 0370 Cel.: +57 316 529 7881 - Correo electrónico: acup@acac.org.co

Página web: www.acac.org.co

GAMIFICACIÓN: ¿MECANISMO EFECTIVO PARA PROMOVER EL COMPROMISO CÍVICO Y GENERAR CONFIANZA?



JUAN PABLO GAMBOA GÓMEZ

MINTIC

jgamboa@mintic.gov.co

RESUMEN

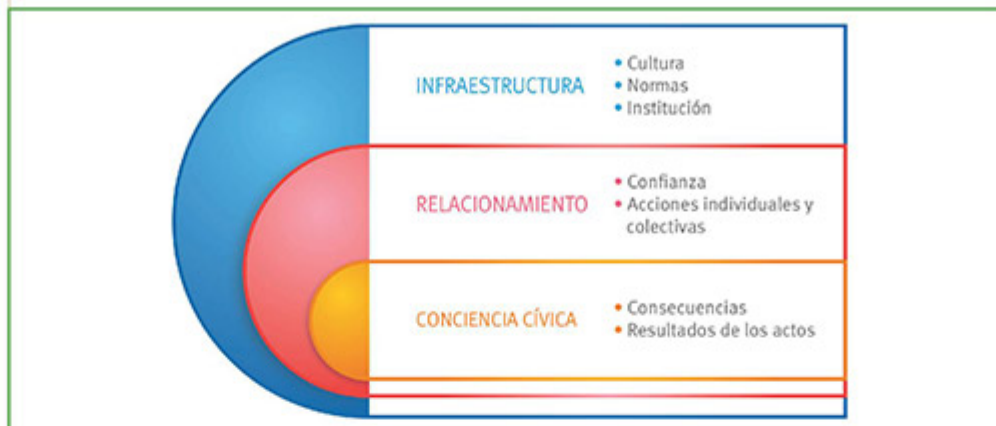
Este artículo, elaborado en el Centro de Innovación en Gobierno Digital, espacio creado por una alianza entre el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en Colombia (PNUD) y el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones MINTIC (1), aborda aspectos que permiten evidenciar cómo la confianza y el compromiso ciudadano pueden ser fortalecidos por estrategias de incentivos y motivaciones que generarían mayor interés de los ciudadanos en los asuntos públicos. El tema de la gamificación aporta a la gobernabilidad y permite la generación de elementos que componen el capital social: el compromiso cívico y la confianza en las instituciones. El documento describe los diferentes mecanismos y dinámicas de juego que las estrategias de gamificación tienen para motivar a los usuarios. Finalmente, se hace una reflexión acerca del impacto que podría tener este fenómeno en la participación y qué tipos de motivación potencializarían sus resultados.

Compromiso cívico, confianza y desarrollo

La relación entre confianza y desarrollo económico, personal o social ha sido estudiada desde disciplinas tan diversas como la economía, la ciencia política, la sociología, la psicología, el derecho y la administración. Uno de los enfoques más interesantes es el que Stephen M. R. Covey tiene de la confianza al convertirla en una ventaja competitiva que, si no existe, “duplica el costo de hacer negocios y triplica el tiempo que se necesita para lograr hacer las cosas”. (2)

Esta “economía de la confianza”, de acuerdo con el planteamiento de Covey, es la diferencia entre una organización estancada y otra dinámica, innovadora, comunicativa, con personas sinceras y auténticas (2). Este enfoque, centrado en la organización y el individuo, es el que Putnam extiende a grupos sociales y relaciona con el desarrollo. Como resultado de este análisis y la comprensión de las tres dimensiones propuestas por variados actores frente a Capital Social (Figura 1), organismos internacionales como el Banco Mundial, el BID o las Naciones Unidas han dirigido su intervención para la promoción del desarrollo en la generación de capital social, usando para ello el marco de la gobernabilidad.

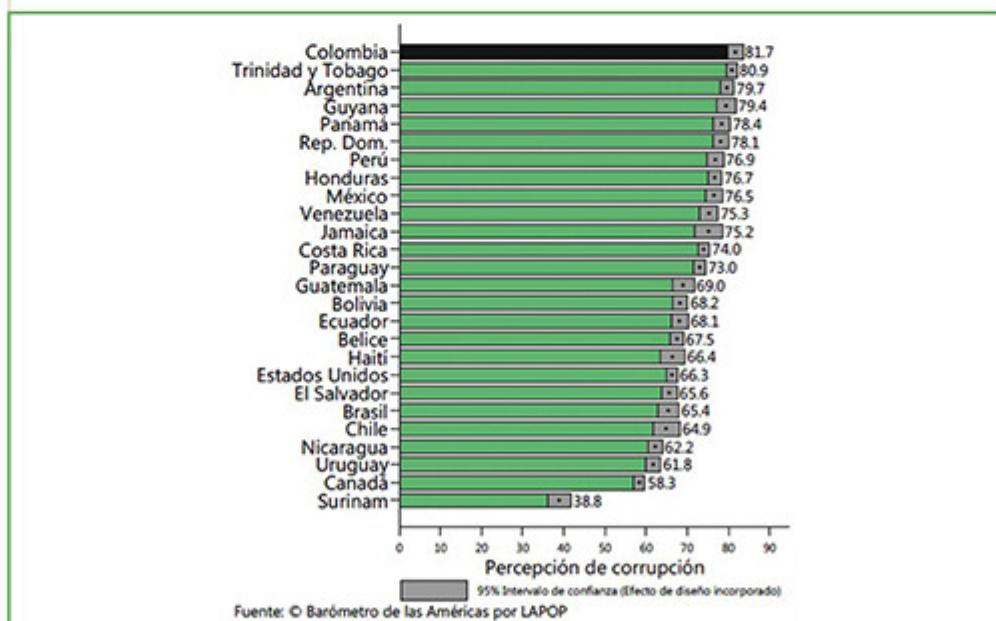
FIGURA 1:
DIMENSIONES PROPUESTAS
FRENTE AL CAPITAL SOCIAL. (3)



Este marco, que se compone de principios como la participación ciudadana, la transparencia, la rendición de cuentas y el cumplimiento de la ley, entre otros, son aspectos que generan la infraestructura para la consolidación de la confianza de los ciudadanos en los gobiernos. Tener administraciones públicas más transparentes, eficientes, efectivas y participativas incrementa el interés de la ciudadanía por involucrarse en asuntos públicos debido a que confían en la información entregada y en los espacios para relacionarse con el Estado.

Aun así, a pesar de los esfuerzos realizados, la confianza en las instituciones sigue siendo muy baja. Un indicador que permite ilustrar la situación es el de percepción de corrupción, que se presenta bianualmente por la Universidad de Vanderbilt para todos los países de América; en la Figura 2 se puede ver el indicador para 2012. (4)

FIGURA 2:
PERCEPCIÓN DE CORRUPCIÓN
EN LAS AMÉRICAS.



Como se puede apreciar, salvo en el caso de Surinam, en los demás países de América la percepción de corrupción de las instituciones públicas supera el 50%. Llama la atención el caso de Colombia, donde este índice supera el 80%.

Indicadores como éste obligan a cuestionar la efectividad de los mecanismos que están siendo utilizados para mejorar la confianza y el compromiso ciudadano, sin embargo, se debe ahondar más en las motivaciones y los incentivos para involucrarse más en los asuntos públicos y confiar en las instituciones.

La motivación en la gamificación

Al igual que el concepto de *e-government*, que se derivó de los marcos de trabajo de *e-business* diseñados a final de los años 90 para el sector privado, el uso de la gamificación en el sector público inicia su camino en los asuntos públicos como medio de incentivar la participación y generación de soluciones a problemáticas de la ciudad y no solo a temas del ámbito privado.

Desde hace varios años empresas como Google y Facebook encontraron en la competencia y la presión social mecanismos efectivos para “comprometer” a su comunidad de usuarios, conseguir información de diferentes tipos, desde sus preferencias hasta la indexación de imágenes. Existen aplicaciones hoy en día que demuestran que la colaboración de terceros se incrementa cuando se incorporan elementos de juego en espacios no lúdicos, lo que permite la promoción de otros valores a través de la diversión y competencia; esto es denominado gamificación (por ejemplo, Waze y Foursquare). (5)

Psicológicamente, la gamificación aprovecha la disposición natural que los seres humanos tienen para utilizar el juego como mecanismo de aprendizaje, transmisión de conocimiento, desarrollo de habilidades e interacción con personas, naturaleza y objetos. El juego es un mecanismo altamente efectivo de socialización que se desarrolla desde los primeros años de vida de los seres humanos de diferentes formas que van desde las actividades paralelas hasta la cooperación. (6)

Esta predisposición de los humanos al juego se asocia a las motivaciones intrínsecas y extrínsecas que tienen para la acción. Es motivación extrínseca cuando se presenta un estímulo externo (premio-castigo) mientras que la motivación intrínseca no depende de la obtención de una recompensa sino del deseo individual. (7)

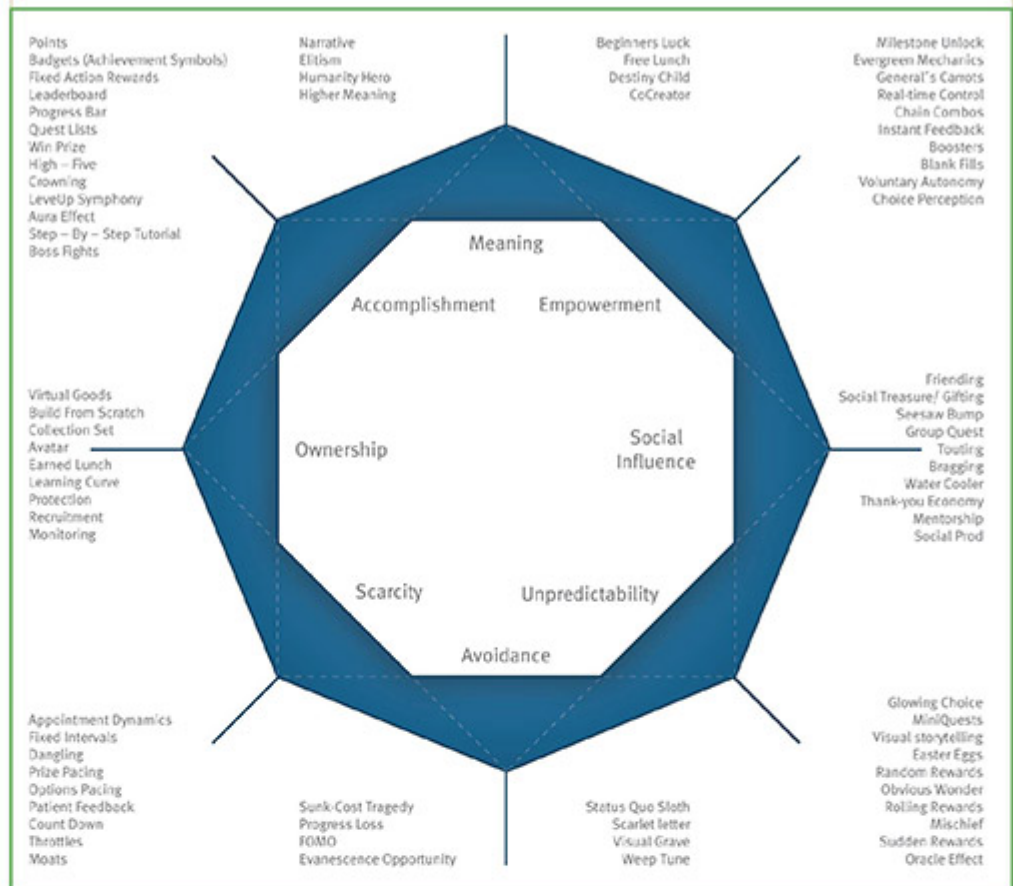
En la gamificación, ambas opciones de motivación se hacen evidentes de diferentes formas. En el marco de trabajo definido por uno de los gurús reconocidos en el tema, Yu-Kai Chou, el conjunto de estímulos y motivaciones que se pueden incluir son de diferentes tipos y tienen aplicaciones distintas dependiendo del resultado que se espera lograr.

El modelo de Chou, llamado Octalysis (8), clasifica en 8 categorías el tipo de motivaciones que pueden usarse en la gamificación; estas y algunos de los elementos que las caracterizan son los siguientes (Figura 3):

1. Logro: Puntos, placas, tablas de liderazgo, niveles.
2. Significado: Heroísmo, destino, narrativa, elitismo.
3. Empoderamiento: Selección de opciones, logro de hitos, combos, autonomía.
4. Influencia social: amistad, desafíos grupales, mentoría.
5. Incertidumbre: Recompensas aleatorias, sorpresas, historias visuales.
6. Escape: Pérdida de avance, pérdida de oportunidades.
7. Escasez: Cuentas regresivas, citas puntuales, recompensas “cuentagotas”.
8. Propiedad: Objetos virtuales, colecciones, avatares, aprendizaje.

El modelo abre un amplio espectro de posibilidades para diseñar la técnica de gamificación que mejor se ajuste al logro de los objetivos deseados. Dependiendo de lo que se quiera lograr, se puede usar una mezcla de motivaciones diferentes e, incluso, éstas pueden cambiar en el tiempo dependiendo de la fase en la que se encuentre la estrategia.

FIGURA 3
MODELO OCTALYSIS PARA
LA GAMIFICACIÓN DE YU KAI
CHOU.
FUENTE: WWW.YUKAICHOU.COM



Gamificación para la participación ciudadana

Aunque podría ser útil para el mejoramiento de elementos de la gobernabilidad, como la eficiencia, la eficacia y el cumplimiento de la ley, probablemente en el espacio en el que su aplicación genera mayor expectativa es en la promoción de la participación ciudadana.

La razón para esta visión optimista es que los elementos psicológicos y pedagógicos de la gamificación, más allá del uso de las tecnologías de la información y las comunicaciones, pueden ayudar a superar los obstáculos que enfrenta la participación y que fueron mencionados anteriormente.

¿Puede aumentar el compromiso cívico con el uso de estrategias de gamificación?

Lo que se evidencia hasta ahora en el aporte que esta técnica ha logrado en la solución de problemas públicos como la movilidad, por ejemplo, con la aplicación de tráfico y navegación Waze (que configura la comunidad más grande del mundo y recoge elementos propios de la gamificación), hace pensar que el potencial de colaboración y cooperación es muy alto, siempre y cuando se encuentren los mecanismos adecuados de motivación. En especial, que la estrategia permita avanzar de una fase inicial planteada en estímulos externos a otra que responda a motivaciones intrínsecas.

Comportamientos nuevos, nuevas ideas de ciudadanía, nuevas ideas de construcción colectiva deben surgir de una estrategia de gamificación; si esto no ocurre, ni la desconfianza va a reducirse ni el compromiso cívico va a aumentar. Es indispensable evitar que el juego se convierta en el fin (solo diversión) en lugar de un medio para abrir nuevos caminos y enseñar nuevas formas de actuar.

Siguiendo esta lógica, las categorías de motivaciones que deberían utilizarse en una estrategia de gamificación que pretenda dinamizar el compromiso cívico y reducir la desconfianza, de acuerdo con el modelo Octalysis, serían la de significado, influencia social e incertidumbre. Sin embargo, por ser altamente llamativos y útiles para “atrapar” usuarios, utilizar motivaciones de las categorías propiedad y logros en una primera fase de la estrategia es acertado.

Un ejemplo de cómo una motivación extrínseca puede convertirse en una intrínseca es la aplicación de multas para que los conductores usen el cinturón de seguridad. Luego de un tiempo, el comportamiento se modifica y probablemente la multa se vuelve accesoria como instrumento para que las personas lo usen.

Conclusiones

La gamificación puede ser una herramienta útil para promover el compromiso cívico y mejorar la relación Estado-ciudadano siempre que se utilicen las motivaciones adecuadas, promoviendo un cambio de comportamiento en el mediano plazo y no solo acciones que responden a necesidades inmediatas.

Recurrir a la motivación extrínseca como parte de la estrategia de gamificación es útil en una primera fase, pero para maximizar sus beneficios y contribuir efectivamente en el cambio del comportamiento se requiere potenciar las motivaciones intrínsecas que son más sostenibles y terminan no dependiendo de un juego o de estímulos externos.

REFERENCIAS

1. <http://centrodeinnovacion.gobiernoenlinea.gov.co>
2. Covey, S.: Transformando la confianza en una ventaja competitiva” Revista Gestión, [internet] República Dominicana. 2011 junio. [Acceso noviembre del 2015] Disponible en: <http://gestion.com.do/pdf/013/013-stephen-mr-covey.pdf>
3. Atria, R., CEPAL. et al. Capital Social y Reducción de la Pobreza en America Latina y el Caribe. Repositorio de la CEPAL [internet] 2003 [acceso noviembre de 2015] Disponible en: http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/2345/So29693_es.pdf?sequence=1
4. Latin American Public Opinion Project. Barómetro de las Américas 2012 “ Cultura política de la democracia en Colombia y las Américas 2012: Hacia la igualdad de oportunidades” Vanderbilt University - USAID. 2012.”
5. Gamificación.com. Que es la Gamificación 2013 [Acceso noviembre de 2015] Disponible en: <http://www.gamificacion.com/>

- 
- 
6. Osterrieth, P. "Psicología Infantil" Editorial Morata., España 2008 Francesc Palmero. Motivación: conducta y proceso. Revista Electrónica de Motivación y Emoción [revista en internet]. 2005 diciembre [acceso noviembre de 2015]; Volumen VIII. Número 20-21. Disponible en <http://reme.uji.es/articulos/numero20/1-palmero/texto.html>.
 7. Octalysis: Complete Gamification Framework [página Web]. Yu Kai Chou; Marzo 1 de 2015 [acceso en noviembre de 2015]. Gamification Examples. Octalysis: Disponible en <http://www.yukaichou.com/gamification-examples/octalysis-complete-gamification-framework/#.U7ngKqizomp>

OFERTA ACADÉMICA DIPLOMADOS 2016

—> ACAC ofrece un **diseño académico**, cuyo objetivo es brindar herramientas para fortalecer el desarrollo de proyectos de ciencia, tecnología e innovación en cualquier área del conocimiento, **a través de los siguientes diplomados:**



Formulación de proyectos de investigación



Escritura de artículos científicos y tecnológicos



Gestión de proyectos de investigación en CTel



Propiedad intelectual para investigadores



Legislación de ciencia y tecnología



Comunicación de las ciencias



Pruebas científicas en procesos judiciales



Gestión y ejecución de recursos de regalías para CTel



Formación e investigación



Georreferenciación aplicada a la investigación



Biotecnología para profesores de ciencias de educación básica y media



Agricultura limpia



Gestión de la innovación

INFORMES

Tel.: +57 (1) 432 0370 Cel.: +57 316 529 7881 - Correo electrónico: acup@acac.org.co
Página web: www.acac.org.co



LA CUARTA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL Y COLOMBIA: ¿QUÉ PODEMOS HACER?

JORGE IVÁN BONILLA LEÓN

jorgeivanbonilla@gmail.com

RESUMEN

El proceso de destrucción creativa de la Cuarta Revolución Industrial, a diferencia de los tres anteriores, creará menos empleos de los que destruirá. Algunas de las naciones más desarrolladas han propuesto la figura del ingreso básico universal como la manera de adaptarse a un futuro donde las máquinas sean, para muchos trabajos, más competentes que los seres humanos. Las naciones en vías de desarrollo como Colombia carecen de la solvencia económica para implementar una medida semejante. ¿Qué podemos hacer?

Cuenta la historia que en los años 50, Henry Ford II y Walter Reuther, director del gremio de trabajadores automotrices de EE.UU., estaban visitando una nueva fábrica de motores. Ford señaló con un gesto a una flota de máquinas y preguntó: “Walter, ¿cómo vas a lograr que estos robots paguen la cuota de afiliación al gremio?”, a lo que éste respondió: “Henry, ¿cómo vas a lograr que compren tus carros?”.

Una consecuencia negativa de la Cuarta Revolución Industrial es que el reemplazo de los salarios pagados a los trabajadores por los dividendos pagados a los accionistas (de las empresas fabricantes de los robots [para efectos del presente artículo se utilizará la palabra “robot” de manera indistinta para referirse tanto a dispositivos electromecánicos como a softwares dotados de inteligencia artificial]) va a exacerbar la concentración de la riqueza. Esa desigualdad también se replicará internacionalmente entre los países que desarrollen esas tecnologías y los que simplemente se sirvan de ellas.

Las Naciones Unidas contemplan dos dimensiones para el desarrollo humano: la directa ampliación de las habilidades humanas y la creación de las condiciones para que el desarrollo de las poblaciones pueda efectivamente suceder (1). Muchas de esas condiciones se derivan de la participación de las personas en el sistema productivo y eso es precisamente lo que el desempleo de origen tecnológico pone en riesgo.

Algunos países desarrollados creen haber encontrado la panacea: el ingreso básico universal, una suma de dinero que sería entregada a todos y cada uno de sus ciudadanos, mes a mes, sin exigencia de contraprestación alguna. Colombia sencillamente no cuenta con la solvencia económica para implementar una medida semejante. ¿Qué podemos hacer?



Recomendación 1: entendamos de qué estamos hablando

En el Reino Unido, Carl Frey y Michael Osborne, académicos de la Oxford Martin School, publicaron en 2013 un informe sobre el riesgo de desempleo tecnológico (2). En Estados Unidos, Erik Brynjolfsson, Andrew McAfee y numerosos expertos y líderes de la industria firmaron la “Carta abierta sobre la economía digital” (3). El Foro Económico Mundial dedicó su más reciente encuentro anual en Davos al tema de la Cuarta Revolución Industrial y publicó un reporte titulado *El futuro del empleo* (4), y China elaboró su último plan quinquenal de desarrollo con base en el libro *La tercera revolución industrial* de Jeremy Rifkin (5).

Si en las principales naciones del mundo la discusión sobre cómo adaptarse a la Cuarta Revolución Industrial ha sido puesta en el centro de la mesa, ¿qué estamos esperando para hacerlo nosotros también? Necesitamos a los cuatro actores (el sector público, el sector privado, la academia y la sociedad civil) investigando, debatiendo y proponiendo posibles soluciones.

Esta discusión puede incentivarse creando en los pregrados de Ingeniería Industrial, Administración de Empresas y Economía una cátedra sobre la Cuarta Revolución Industrial. También haciendo que cada gremio de Fenalco y cada sector de la Andi designe una comisión para hacer vigilancia tecnológica y evaluar el impacto de la nueva economía en su industria específica. Asimismo, logrando que cada región productiva y municipio de más de 100.000 habitantes realice ejercicios cuatrienales de prospectiva territorial. Finalmente, organizando un foro anual en el que esa red de *think tanks* sintetice las lecciones aprendidas y difunda las mejores prácticas.

Toda la comprensión ganada nos debe servir como base para el diseño de unas políticas públicas que nos hagan verdaderamente competitivos a nivel global. Los CONPES de Política Nacional de Desarrollo Productivo y de Innovación, la Estrategia para una Nueva Industrialización de la ANDI, el Programa de Transformación Productiva del MinCIT y la Visión 2032 del Consejo Privado de Competitividad, todos deben ser cuidadosamente revisados y ajustados a la luz de esta nueva información. El futuro no debe sorprendernos.

Recomendación 2: incrementar nuestro capital del conocimiento

La discusión sobre cómo mejorar la educación históricamente ha hecho mucho énfasis sobre la ampliación de la cobertura y el tiempo de escolaridad, pero muy poco énfasis sobre la calidad de la educación en sí. El capital del conocimiento de una nación son las capacidades cognitivas de su pobla-

ción y dependen de cuanto beneficio obtienen los niños por cada año pasado en la escuela. El indicador crítico de desempeño es la puntuación en las pruebas PISA y TIMSS.

En su libro *El capital de conocimiento de las naciones: la educación y la economía del crecimiento*, los autores Eric Hanushek y Ludger Woessmann presentan la tesis de que prácticamente toda variación en las tasas de desarrollo económico de las naciones puede ser explicada por las diferencias en el capital del conocimiento (6). Así se explica el milagro económico de las naciones del este asiático. Y así también se explica el comportamiento errático de las economías de América Latina.

El cuarto Objetivo de Desarrollo Sostenible, enunciado por las Naciones Unidas, propone que para el año 2030 la totalidad de los niños y niñas tengan “educación secundaria de calidad”. No especifica el término “calidad” a qué se refiere. Hanushek y Woessmann lo equiparan con haber adquirido a los 15 años de edad habilidades básicas universales equivalentes al nivel 1 de las pruebas PISA (420 puntos). Y con base en ello trazan tres escenarios de competitividad entre países.

El primero es llevar únicamente a los estudiantes actualmente inscritos al nivel de habilidades básicas universales. El segundo es alcanzar el 100% de cobertura, pero con el nivel de calidad actual. Y el tercer escenario es lograr los dos anteriores: alcanzar la cobertura completa y llevar a la totalidad de los niños al nivel de habilidades básicas universales. *Ceteris paribus*, a un país de ingresos medios-altos como Colombia, el primer escenario le reportaría un crecimiento del PIB equivalente al 400%; el segundo, del 200%; y el tercero, superior al 700%.

No debemos llamarnos a engaños. El hecho de que Colombia sea un país de ingresos medios-altos tiene que ver menos con lo increíblemente competitiva que es nuestra economía y más con el simple hecho de que en nuestro suelo hay petróleo. Y eso tarde o temprano va a llegar a su fin. En palabras de la OCDE:

“El objetivo de las habilidades básicas universales también tiene sentido para los países de altos ingresos, en particular para los países productores de petróleo. Muchos de ellos han tenido éxito en convertir su capital natural en capital físico y consumo hoy en día, pero han fallado en convertir su capital natural en capital humano que pueda generar los resultados económicos y sociales que sustenten su futuro. Así que aquí hay un mensaje importante para los países ricos en recursos naturales: la riqueza que yace escondida en las habilidades sin desarrollar de sus poblaciones es mucho más grande que la que hoy extraen de sus recursos naturales” (7).

Un componente adicional es que en los lugares con las mejores prácticas educativas, como Shanghai (China), Corea del Sur y Singapur, se trabaja sobre la premisa de que todos y cada uno de los niños debe lograrlo. Ninguno es descartado. Y eso implica un sistema que pueda adaptarse a la diversidad. El otro componente es que la labor de los docentes es altamente valorada y generosamente recompensada.

Recomendación 3: andragogía para adultos que se reinventan

Es crucial que la reforma educativa del MinEducación logre reestructurar la educación primaria y secundaria para desarrollar en los alumnos las competencias que la nueva economía requerirá. Esto es, entender cuáles habilidades serán fácilmente replicadas por los robots y cuáles no, y enfocar nuestro sistema educativo en desarrollar estas últimas.

La pregunta difícil es: ¿qué hacemos con todos los adultos que llevan años o décadas alejados de la academia, y que repentinamente se vean desplazados de sus trabajos por las máquinas? En su discurso sobre el Estado de la Unión 2016, Barack Obama hizo mención a que “los estadounidenses entienden que en algún punto de sus carreras, en esta nueva economía, pueden necesitar readaptarse o reentrenarse” (8). Esta es la principal tarea del SENA para las décadas venideras.

Aquí los tres niveles de pregrado, maestría y doctorado pierden sentido. Se requiere la formación específica en habilidades que faciliten la empleabilidad. Por ejemplo, ante la escasez de programadores para escribir *software*, muchas empresas ya no están buscando ingenieros de sistemas. Buscan personas de cualquier formación previa que se hayan certificado en el lenguaje de programación que están necesitando. Y dicho proceso puede completarse en cuestión de semanas.

Tal vez **la competencia más relevante que los adultos deben desarrollar es la de aprender a aprender**. En un momento en el que las mejores universidades del mundo han publicado sus clases de manera gratuita en internet, sólo tres cosas se requieren para adquirir conocimientos avanzados en cualquier campo: 1) un dominio intermedio del idioma inglés; 2) un computador con acceso a internet; y 3) la voluntad de hacerlo. El Estado (y las academias de idiomas) pueden facilitar las dos primeras.

Recomendación 4: apoyar al emprendimiento

Los emprendedores son los exploradores y pioneros de este Nuevo-Nuevo Mundo. Su rol en el desarrollo económico y la creación de nuevos empleos es crucial. Sin embargo, al igual que los exploradores y pioneros que colonizaron América, muchas veces pagan cara su osadía. Nueve de cada diez emprendimientos fallan. El costo financiero del fracaso es desalentador; el costo emocional es brutal.

Es un cliché de la innovación el que “si no estás fallando es porque no estás intentando nada nuevo”. No por eso es menos cierto. Una primera medida para incentivar el emprendimiento es cambiar la cultura del miedo al fracaso, entender que “jugar a lo seguro” y repetir las fórmulas probadas del pasado es sacrificar el futuro. Necesitamos una cultura de la celebración del “buen fracaso”, aquel que sucede en la búsqueda de una mejor manera de hacer las cosas.

Un segundo paso es la educación en emprendimiento. La mayor parte de los errores que llevan las nuevas empresas al fracaso siguen una serie de patrones. Algunos se han vuelto lugares comunes. Es necesario hacer una taxonomía, entenderlos y enseñarles a los emprendedores cómo evitarlos. Igualmente, se deben tener observatorios de vigilancia de modelos de negocio emergentes. Es necesario hacer una taxonomía de ellos, entenderlos y enseñarles a los emprendedores cómo aprovecharlos.

Un tercer paso, directamente atado a la Cuarta Revolución Industrial, es entender que los robots pueden ser aliados de los emprendedores si se utilizan para automatizar labores que, de otra manera, incrementarían el costo de creación del producto mínimo viable. Las máquinas como socios y cofundadores.

Finalmente, es crucial reducir el costo de oportunidad del emprendimiento. Este se define como la segunda mejor cosa que el emprendedor podría estar haciendo con su tiempo/dinero y responde a la fórmula:

$$\text{Costo de Oportunidad del Emprendimiento} = (\text{salario de un trabajador equivalente} * (\text{tiempo de desarrollo y fallo del emprendimiento} + \text{tiempo de revinculación laboral})) + \text{pérdida de ahorros} + \text{endeudamiento}$$

Esta reducción puede lograrse de varias maneras. Una es incrementar el presupuesto de iniciativas como Fondo Emprender; otra es la creación de un “ingreso básico universal para emprendedores”: que cada persona tenga derecho a seis meses de salario por década exclusivamente para idear y lanzar nuevos negocios. Otra es la clasificación del capital semilla como un mecanismo de responsabilidad social empresarial.



Finalmente, se debe concientizar a los gerentes generales y ejecutivos de RRHH sobre los aportes que los emprendedores podrían hacer en sus empresas. Eso reduciría sus tiempos de revinculación post-emprendimiento. Ya la generación *Millennial* ha desafiado el paradigma de permanencia. La pregunta de “¿cuánto nos vale entrenar a esta persona y que después se vaya?” ignora el hecho de que los emprendedores traen consigo aprendizajes valiosísimos que los mejores programas de entrenamiento difícilmente podrían replicar.

Tal vez la medida más audaz sería la creación de puertas circulares mediante las cuales los emprendedores puedan volverse intra-emprendedores y viceversa. En un mundo que otorga un valor tan alto a la innovación, si un emprendedor llega a una empresa a aportar enfoques novedosos que impacten de manera positiva la triple línea base de resultados, ¿a quién le importa cuánto tiempo se quede?

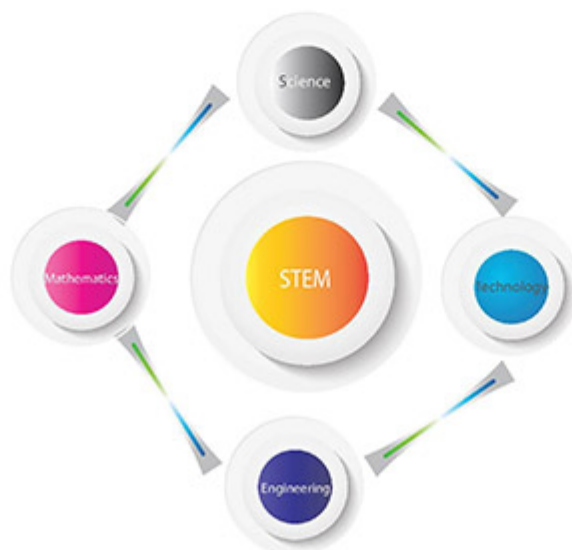
Recomendación 5: feminismo y tecnología

Las mujeres, si bien cuentan con habilidades innatas de empatía e inteligencia emocional que las máquinas difícilmente podrán replicar, se encuentran sub-representadas en los empleos de alta tecnología que experimentarán un auge durante la Cuarta Revolución Industrial y, por ende, están mal posicionadas para capturar los beneficios de esta nueva economía.

El primer paso es desafiar el “currículo oculto” que menciona la gerente de Aequales, María Adelaida Perdomo: que el adoptar un bajo perfil no es condición necesaria para pertenecer al género femenino y que no existe tal cosa como disciplinas reservadas exclusivamente a los hombres. Es preciso robustecer su autoestima y afirmarles que son perfectamente capaces de tener éxito en cualquier campo que escojan.

Debe incentivarse en ellas desde una edad lo más temprana posible el acercamiento a las disciplinas STEM (*Science, Technology, Engineering, Mathematics*). Deben crearse campeonatos y olimpiadas de ciencia y tecnología exclusivamente femeninas. La educación científica debería ser un criterio, inclusive, en la decisión de los padres sobre qué tipo de juguetes comprar a sus niñas. La creación de la Red Colombiana de Mujeres Científicas es una noticia oportuna: puede proveernos de unos muy necesitados modelos de rol.

En un terreno más especulativo, la evidencia empírica sugiere una inteligencia lingüística superior en promedio en el género femenino que en el masculino. No sería descabellado pensar que esa mayor inteligencia podría aprovecharse para el aprendizaje de lenguajes de programación, una habilidad altamente valorada y espléndidamente recompensada por la nueva economía.



Cada joven mujer podría ser políglota al momento de su grado de bachiller. Debería ser proficiente en español, para comunicarse con sus conciudadanos; en inglés, para comunicarse con el mundo; y en Python, para comunicarse con las máquinas. Este lenguaje de programación es el más sencillo de aprender por su similitud al inglés y provee las bases conceptuales y lógicas que permiten el posterior aprendizaje de lenguajes de programación más elaborados.

Debemos trabajar para que en el futuro la pobreza no tenga cara de mujer. Ese es el interés de iniciativas como la de Joanna Prieto con “Geek Girls” en Colombia. También la de “Chicas Poderosas” en América Latina y “Girls Who Code” en los Estados Unidos. Es preciso apoyar y difundirlas.

LA ECONOMÍA NARANJA



UNA OPORTUNIDAD INFINITA

Recomendación 6: la Economía Naranja

Otro campo en el que difícilmente las máquinas superarán a los seres humanos es el de las disciplinas creativas. En *La economía naranja, una oportunidad infinita*, Felipe Buitrago e Iván Duque, investigadores del Banco Interamericano de Desarrollo, postulan que, tomadas como sector, la oferta de bienes y servicios creativos inyectaría a la economía global 2,2 billones de dólares anuales, equivalentes

al 230% de las exportaciones de petróleo de la OPEP en 2012 (9).

Un caso de éxito es el de Corea del Sur, que desde el cambio de milenio se ha posicionado como exportador de cultura popular. La *hallyu*, también conocida como “ola coreana”, está compuesta principalmente por cinematografía y series televisivas (el K-drama) y música (el K-pop), las cuales han apalancado su difusión en las redes sociales y Youtube (¿recuerdan el fenómeno *Gangnam Style*?). Consciente de su potencial como generador de riqueza, el gobierno surcoreano ha apoyado sus industrias culturales mediante subsidios e incentivos al emprendimiento.

El potencial de Colombia en este campo es inmenso. Recientemente se realizó el Primer Foro de la Economía Naranja en el marco de la Feria de Industrias Creativas y Culturales. El gobierno ha dado pasos decisivos para su explotación con la creación de la Cuenta Satélite de Cultura por parte del DANE, la publicación del manual de emprendimiento cultural por parte del MinCultura y la construcción de un marco normativo, del que hace parte la próxima Ley de Economía Naranja. Pero todavía es mucho más lo que puede hacerse. Y se requiere un apoyo presupuestal decisivo para incentivar su desarrollo.

Recomendación 7: compartir la riqueza

En Estados Unidos es usual que a los empleados de las compañías de tecnología se les ofrezca parte de su remuneración en forma de acciones que les dan propiedad sobre la misma compañía y participación en los dividendos de la misma. Esto es una medida inteligente. La gente “se pone la camiseta” mucho más cuando entiende que su bienestar económico está atado al progreso de la empresa.

Una figura similar es la que implementó el brasileño Ricardo Semler en sus empresas y que describe en sus dos excelentes libros (10, 11): la participación de los empleados en las utilidades de la empresa. Es relevante el caso de Ecuador con la ley que exige la distribución del 15% de las utilidades entre los trabajadores.

Esto tal vez es lo más importante de la propuesta de Semler: “tratar a los empleados como si fueran adultos” y “darles poder de decisión sobre sus destinos”. De nada nos sirve tener unos modemos luditas saliendo a protestar y a romper cosas cada vez que surja una tecnología disruptiva. Nos sirven unos trabajadores visionarios que entiendan que la incorporación de nuevas tecnologías para hacer más competitivas globalmente sus industrias está en el mejor de sus intereses.

Más allá del referente obligado de Indupalma, la pregunta que debemos hacernos es: ¿qué tipo de herramientas jurídicas y financieras debemos crear para que los directos perjudicados por la pérdida de empleos sean los mismos beneficiarios de la automatización?

Recomendación 8: poner el dinero en donde mejor se ve

Con apenas 37 puntos de 100 posibles, Colombia se ubicó en el puesto 94 entre 174 países en el último informe de Transparencia Internacional (12) (en América Latina los referentes son Uruguay y Chile, que obtuvieron 74 y 70 puntos, respectivamente). Complementa esa información el dato de Transparencia por Colombia que establece que las contralorías regionales, las entidades que precisamente deben velar por el buen manejo de los recursos, obtienen un promedio general de 55 puntos sobre 100 (13). *¿Quis custodiet ipsos custodes?*

La caída de las rentas petroleras hizo necesaria una reforma tributaria para buscar nuevas fuentes de ingresos para la Nación, pero debe entenderse que tal medida será inefectiva si no se soluciona primero el problema de la corrupción. Si el balde está desfondado, no por echarle agua con una manguera más grande se va a llenar más rápido.

No es momento de eufemismos o subterfugios: el principal problema de Colombia no es la guerrilla, es la corrupción. Tanto la guerrilla como la delincuencia común se nutren de la falta de oportunidades para la población, una consecuencia directa de la malversación de los recursos del Estado. La paz no se construye en La Habana; se edifica en Colombia haciendo inversión social que permita una mayor participación de la población en el sistema productivo y en la distribución de la riqueza. La paz se construye reduciendo el coeficiente de Gini.

La lucha contra la corrupción será inefectiva mientras se centre sólo en castigar al corrupto. El foco debe ser, por encima de todo, la restitución de los recursos a la Nación, utilizando mecanismos como la extinción de dominio del infractor y, de ser necesario, su núcleo familiar, socios comerciales y amigos cercanos, en el territorio colombiano o en cualquier lugar del mundo donde los activos se encuentren.

El Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 requiere recursos del orden de 704 billones de pesos para su ejecución. Un Estado más transparente podría lograr idénticos resultados con menos recursos. Y los ahorros servirían para realizar inversiones que prepararan a Colombia para la Cuarta Revolución Industrial.

Noruega y Alaska son ejemplos exitosos del aprovechamiento de los recursos generados por las industrias extractivas para la constitución de fondos soberanos de inversión. Es la misma decisión que acaba de tomar Arabia Saudita en su Visión 2030: la creación de un gigantesco fondo de inversión para prepararse para un futuro post-petróleo, en este momento, la fuente del 80% de sus ingresos.

¿Qué se necesitaría para crear el Fondo Soberano de Inversión Colombiano? ¿Qué tal si ese dinero se invirtiera en acciones de empresas de tecnologías disruptivas? ¿En fortalecer a Colciencias y al Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación? ¿En nuestros propios emprendedores de base tecnológica?

Recomendación 9: cambiar la manera en que se escriben las leyes

Uber inició operaciones en Colombia en septiembre de 2013. Un año y dos meses después, el 22 de noviembre de 2014, fue declarado ilegal por el Ministerio de Transporte. Un año más tarde, el 23 de noviembre de 2015, el Gobierno anunció el decreto que reglamentaba el servicio de taxis de lujo. Tres meses y medio después, el 14 de marzo de 2016, los taxistas sorprendieron al país con unos desmanes rayanos en lo criminal. A hoy, mayo de 2016, y a casi tres años de la llegada del modelo de negocios al país, aún no se vislumbra una solución satisfactoria. En palabras de Klaus Schwab, presidente del Foro Económico Mundial:

“Los sistemas actuales de elaboración de políticas y de toma de decisiones evolucionaron paralelamente a la Segunda Revolución Industrial, cuando los tomadores de decisiones tenían el tiempo para estudiar un tema específico y desarrollar la respuesta necesaria o el marco regulatorio apropiado. Todo el proceso estaba diseñado para ser lineal y mecanicista, siguiendo un estricto planteamiento descendente. Pero un abordaje semejante ya no es viable. Dada la rápida velocidad de cambio y los amplios impactos de la Cuarta Revolución Industrial, los legisladores y los reguladores están siendo desafiados en un nivel inédito y, en su mayor parte, están demostrando ser incapaces de hacerle frente.

¿Cómo, entonces, pueden preservar el interés de los consumidores y de todos los públicos mientras, al mismo tiempo apoyan la innovación y el desarrollo tecnológico? Adoptando una gobernanza “ágil”, al igual que el sector privado ha adoptado de manera creciente respuestas ágiles al desarrollo de *software* y a las operaciones de negocios en general. Esto significa que los reguladores deben constantemente adaptarse a un entorno nuevo y rápidamente cambiante, reinventándose a sí mismos para entender verdaderamente qué es aquello que están regulando. Para hacerlo, los gobiernos y las agencias reguladoras deberán colaborar estrechamente con los negocios y la sociedad civil” (14).

Recomendación final: se requiere un cambio fundamental en la naturaleza misma del liderazgo

Dicen los defensores del ingreso básico universal que una medida semejante liberaría el potencial creativo de cada individuo y llevaría a la humanidad a la utopía: una época dorada de desarrollo y bienestar. Y es cierto que muchas personas tienen talentos ocultos que no han desarrollado por el imperativo de producir su sustento. La escasez de dinero suele tener un efecto supresor sobre la materialización del talento.

Ahora bien, lo contrario es también posible y hasta más probable. “El logro es un límite”, dijo Aristóteles. En un mundo donde el hedonismo es el valor primordial y todo el mundo en Facebook simula estar dando la gran vida, ¿por qué habría de trabajar alguien que perciba el ingreso básico universal? Esta sería la distopía: un mundo de NINIs, personas que ni estudian ni trabajan (en inglés: NEETs, not in employment, education or training), no por fuerza mayor sino por decisión propia y deliberada.

“Éxito es igual a la acumulación de dinero”, es el gran falso positivo de nuestros tiempos. Nadie que esté en sus cabales diría que los políticos corruptos, los empresarios inmorales o los narcotraficantes son personas exitosas, y, sin embargo, tienen dinero por montones. El espíritu de los tiempos pareciera enseñar que el dinero es un fin en sí mismo y que su acumulación todo lo legitima. Ojalá algún día entendamos que es tan solo un medio para alcanzar un fin. Y que ese fin no es otro que la realización plena del potencial humano.

Uno de los conceptos centrales de la economía es la escasez. Y eso es coherente con una visión del mundo masculina y depredadora; un juego de suma cero donde “para que yo pueda ganar, alguien tiene que perder”. Sin embargo, en un mundo que derive el 100% de su energía de fuentes renovables, que implemente procesos circulares de producción y donde la mayor parte del trabajo sea realizado por robots, pronto habrá mucho de todo; pronto habrá de todo y en abundancia para todos. Esta es la promesa de la sociedad del costo marginal cero postulada por Jeremy Rifkin. Y es más coherente con una visión del mundo femenina y colaborativa; un juego de suma positiva donde “si gano yo y ganas tú, entonces ganamos todos”.

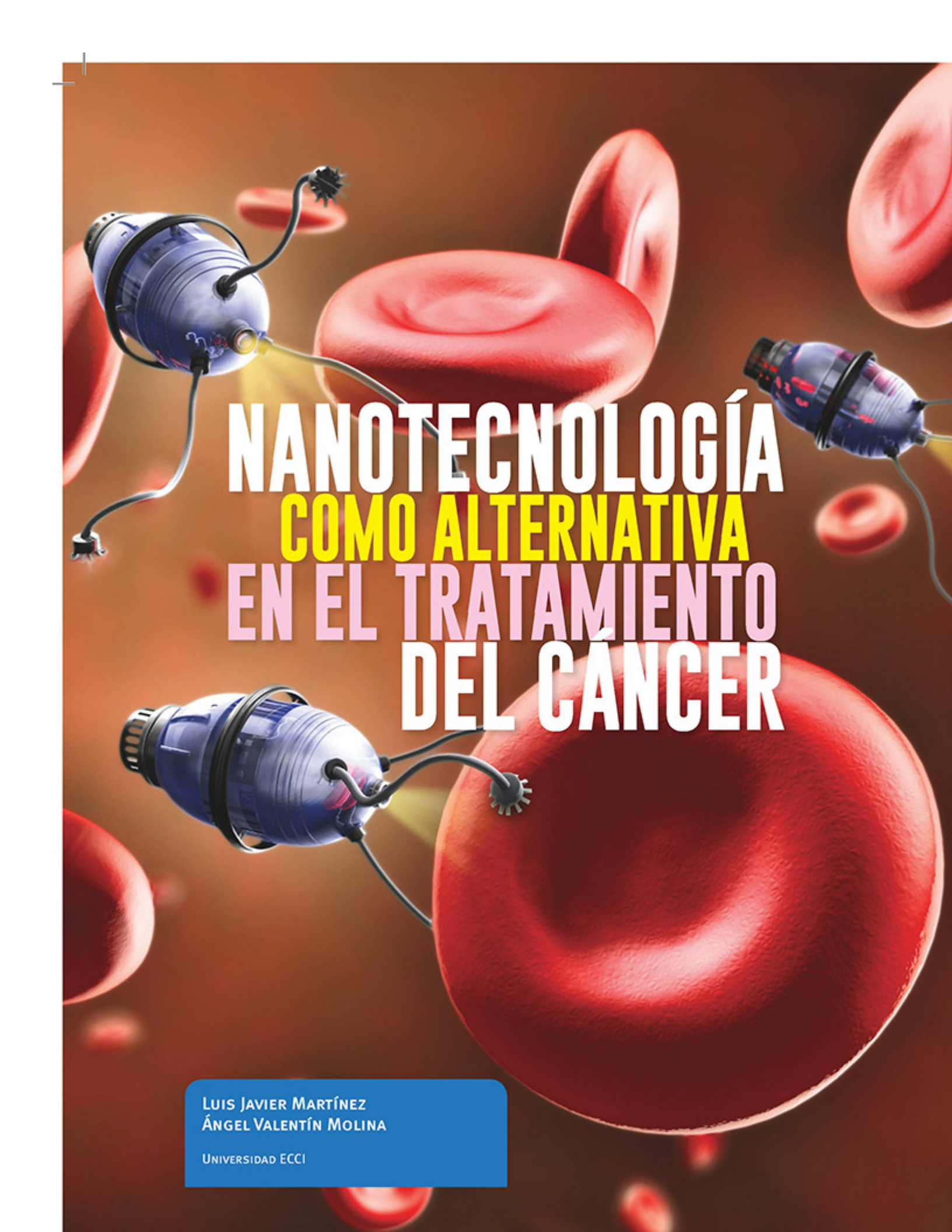
De ahí que lo más disruptivo que pueda hacer cualquier país para adaptarse a la Cuarta Revolución Industrial es fomentar el desarrollo de la empatía, una habilidad típicamente humana, en todos sus alumnos de educación primaria y secundaria. Y construir sobre ella un estudio serio de la ética en todas las carreras técnicas, tecnológicas o profesionales y en todos los posgrados. Y utilizar ambas cosas para reformar la democracia y velar por el surgimiento de mejores líderes tanto en el sector público como en el privado.

La construcción de un mundo más justo pasa necesariamente por la de un mundo más femenino. Colombia, es hora de cambiar la malicia indígena por la visión de un futuro de prosperidad compartida

para todos. Solo de esa manera lograremos asegurar un reparto equitativo de los frutos de la nueva economía.

REFERENCIAS

1. Departamento de Comunicación de la Oficina del Informe sobre el Desarrollo Humano. ¿Qué es el desarrollo humano? [Internet] Nueva York: Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas; 2015. Disponible en: <http://hdr.undp.org/es/content/%C2%BFqu%C3%A9-es-el-desarrollo-humano>
2. Frey, CB., Osborne, MA. The Future of Employment: how susceptible are jobs to computerisation? [Internet] Oxford: Oxford Martin School; 2013. Disponible en: http://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The_Future_of_Employment.pdf
3. Brynjolfsson, E. McAfee, A. Jurvetson S., O'Reilly, T. Manyika, J. Tyson, L. Haas [et al.] Open letter on the Digital Economy. [Internet] 2015. Disponible en: <http://openletteronthedigitaleconomy.org>
4. World Economic Forum. The Future of Jobs. Employment, Skills and Workforce Strategy for the Fourth Industrial Revolution. [Internet] Ginebra: WEF; 2016. Disponible en: <https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs>
5. Gardels, N. China's New Five-Year Plan Embraces the Third Industrial Revolution. [Internet] Nueva York: The World Post; 2015. Disponible en: http://www.huffingtonpost.com/nathan-gardels/china-third-industrial-revolution_b_8478954.html
6. Hanushek, E. The knowledge capital imperative. [Internet] Washington: The World Bank; 2016. Disponible en: <http://blogs.worldbank.org/education/knowledge-capital-imperative>
7. Organisation for Economic Co-operation and Development. Universal Basic Skills What Countries Stand to Gain. [Internet] Paris: OECD; 2015. Disponible en: <http://www.oecd.org/edu/universal-basic-skills-9789264234833-en.htm>
8. Office of the Press Secretary. Remarks of President Barack Obama – State of the Union Address As Delivered. [Internet] Washington: The White House; 2016. Disponible en: <https://www.whitehouse.gov/the-press-office/2016/01/12/remarks-president-barack-obama-%E2%80%93-prepared-delivery-state-union-address>
9. Buitrago, P.F., Duque, I. La Economía Naranja: Una oportunidad infinita. [Internet] Nueva York: Banco Interamericano de Desarrollo; 2013. Disponible en: <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/3659/La%20economia%20naranja%3a%20Una%20oportunidad%20infinita.pdf?sequence=4>
10. Semler, R. Maverick. Nueva York: Warner Books; 1993.
11. Semler, R. The Seven-Day Weekend. Nueva York: Penguin Books; 2003.
12. Transparency International. Corruption Perception Index 2014. [Internet] Berlín: Transparency International; 2014. Disponible en: <https://www.transparency.org/cpi2014/results>
13. Transparencia por Colombia. Índice de Transparencia de las Entidades Públicas. Resultados 2013-2014. [Internet] Bogotá: Transparencia por Colombia; 2015. Disponible en: <http://indice-detransparencia.org.co/>
14. Schwab, K. The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond. [Internet] Ginebra: World Economic Forum; 2016. Disponible en: <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond>

The background of the cover is a warm, reddish-brown color. It features several large, realistic-looking red blood cells. Three small, blue, cylindrical nanobots are depicted. Each nanobot has a central body with a black band around its middle and two thin, black, flexible appendages extending from it. One nanobot is positioned in the upper left, another in the upper right, and a third in the lower left. They appear to be interacting with or moving through the red blood cells. The title text is overlaid on the center of the image.

NANOTECNOLOGÍA COMO ALTERNATIVA EN EL TRATAMIENTO DEL CÁNCER

LUIS JAVIER MARTÍNEZ
ÁNGEL VALENTÍN MOLINA

UNIVERSIDAD ECCI

RESUMEN:

Poder estudiar la hipertermia magnética como un tratamiento alternativo contra el cáncer le permite a la comunidad científica evaluar si este hallazgo ofrece nuevas perspectivas que son necesarias para determinar si el uso de nuevas tecnologías permite mejorar el éxito de los tratamientos tradicionales contra dicha patología. En la hipertermia magnética se utilizan nanopartículas como vectores de transporte de agentes magnéticos que se dirigen hasta las células cancerosas y a la zona del tumor donde son activadas con campos magnéticos externos para así inducir hipertermia en las células cancerosas (1). Si estos resultados demuestran avances positivos en el tratamiento de la patología, se buscaría apoyar aún más el uso de estos agentes magnéticos como agentes terapéuticos contra el cáncer en conjunto con los tratamientos tradicionales. Por otra parte, este descubrimiento puede ayudar a profundizar la comprensión de los mecanismos de la muerte celular controlada por la exposición a campos magnéticos.

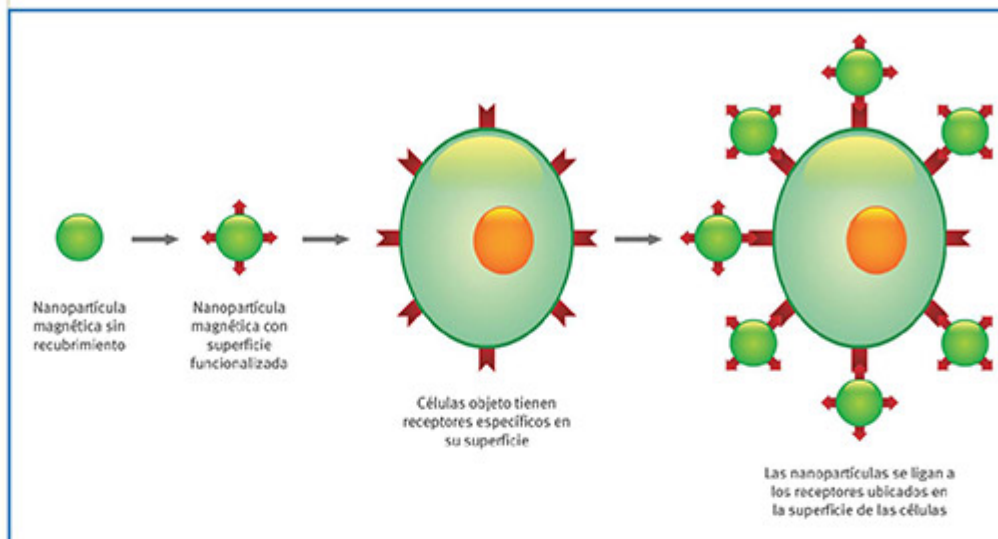
La hipertermia magnética es el nombre dado a un tratamiento experimental contra las distintas clases de cáncer, como el de pulmón, de mama, de próstata etc. Se basa en el uso de nanopartículas magnéticas, que cuando se someten a un campo magnético, entran en resonancia mecánica y por liberación de energía cinética, producen calor (2). Como consecuencia, si las nanopartículas magnéticas se inyectan dentro de un tumor y el paciente es sometido a un campo magnético externo, con un equipo especialmente diseñado para este fin, la temperatura dentro del tumor se elevaría debido a la presencia de las nanopartículas. Este método de tratamiento todavía no ha sido implementado en Colombia, sin embargo desde el 2015 se está estudiando su desempeño para evaluar una futura implementación a nivel nacional (Figura 1).

En Colombia, la Universidad ECCI y la Universidad del Rosario, quieren explorar, a través de un proyecto de colaboración diseñado para realizar experimentos in vitro, la posibilidad de poder empezar a estudiar esta tecnología.

La hipertermia clásica se define mediante unas técnicas que se utilizan para generar hipertermia en tejidos cancerígenos como lo son el láser, la radiación ionizante y las microondas. Estas técnicas son capaces de elevar la temperatura intracelular hasta causar muerte celular, sin embargo, pueden tener efectos colaterales no deseados como la ionización de material genético (radiación) o la falta de selectividad (microondas y láser) que afectan a los tejidos sanos circundantes y en algunos casos, debido a su ubicación, es muy difícil aplicar estas técnicas, como en cánceres intracraneales.

FIGURA 1:

ESQUEMA DETALLANDO LA FUNCIONAUZACIÓN DE LA SUPERFICIE DE LAS NANOPARTÍCULAS PARA QUE SOLAMENTE INTERACTÚEN CON LAS CÉULAS OBJETO, EN ESTE CASO, CÉULAS CANCEROSAS.



La hipertermia clásica es uno de varios protocolos clínicos que buscan ser utilizados como terapia complementaria a los tratamientos tradicionales contra el cáncer. Los tratamientos tradicionales se entienden como la cirugía, la radioterapia y la quimioterapia. Se ha demostrado un claro efecto sinérgico cuando se combina la hipertermia con radioterapia, debido a que el calor debilita las células cancerosas y la radiación las combate, así como cuando se combina con los efectos potenciadores de numerosos fármacos citotóxicos (3).

Sin embargo, hasta el momento la hipertermia clásica sola es un tratamiento limitado debido a la dificultad de generar la elevación de la temperatura exclusivamente en las células cancerosas o en el tumor. La razón por la cual los médicos no pueden elevar la temperatura en estas células cancerosas o en los tumores, generalmente se debe a su ubicación o por el estado del paciente (4)

Para lograr combatir las limitaciones que presenta la hipertermia clásica, la hipertermia magnética busca resolver el problema de calentamiento localizado mediante la combinación de los campos magnéticos y de nanopartículas magnéticas como los agentes que generan el calentamiento. Con el uso de las nanopartículas se busca superar las limitaciones que se presentan en los tratamientos clásicos que usan hipertermia, pues en este caso ya ni la ubicación, ni el estado del paciente afectan el que las nanopartículas se ubiquen en la zona donde se encuentran las células cancerosas, ya que ellas se desplazan por el sistema sanguíneo buscando las células cancerosas las cuales selecciona por su morfología. Una vez las nanopartículas se ubican en la zona cancerígena se inicia el calentamiento específico a través de la apli-

cación de un campo magnético externo en la región local del tumor sin dañar el tejido sano circundante.

La técnica de hipertermia magnética funciona gracias al desarrollo de métodos precisos para producir las nanopartículas magnéticas. Estas son encapsuladas dentro de polímeros o vesículas que cuentan con superficies funcionalizadas (diseñadas con alta especificidad para que solo interactúen con una determinada célula o tejido, en este caso, solo contra las células cancerosas y el tejido tumoral) (5). El éxito en la aplicación de esta técnica como tratamiento que potencialmente puede ser utilizado contra el cáncer, está en poder seguir funcionalizando tanto bioquímica como fisiológicamente las nanopartículas para que solamente interactúen con las células cancerosas (Figura 2).

Las nanopartículas están definidas como partículas entre 1 y 100 nanómetros de tamaño. Actualmente la investigación en este campo es de gran interés científico debido a una amplia variedad de

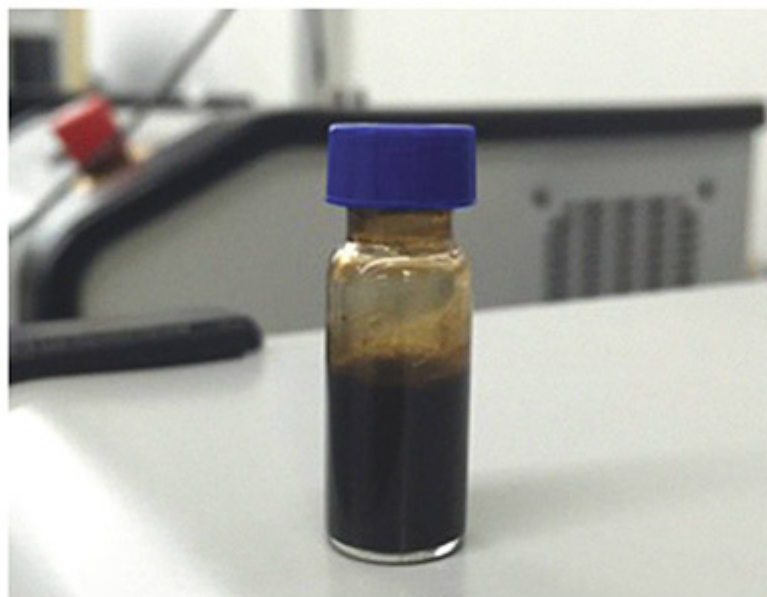


FIGURA 2:
NANOPARTICULAS MAGNO®
UTILIZADAS PARA GENERAR EL
CALENTAMIENTO AL INTERIOR
DE LOS CULTIVOS CELULARES.

potenciales aplicaciones que las nanopartículas presentan en diversos campos, incluyendo los biomédicos, ópticos y electrónicos (2). Al hablar específicamente de aplicaciones biológicas, debemos asegurarnos de aclarar que las nanopartículas magnéticas llevan un revestimiento para proteger el tejido biológico del material metálico (se utiliza un polímero o una vesícula). Dicho revestimiento debe tener una superficie polar para que pueda contar con una alta solubilidad en el agua y así evitar su agregación, lo cual evitaría una distribución más pareja en el medio biológico. Las nanopartículas pueden estar enlazadas o acopladas en su revestimiento a moléculas biológicas que actúan como etiquetas de identificación o direcciones a seguir, para dirigir las a sitios específicos dentro del cuerpo, ya sean organelos dentro de una célula, o seguir el movimiento de proteínas o moléculas individuales en las superficies de células o a nivel intracelular. Todo depende del diseño.

Algunas etiquetas o marcadores de superficie comunes en las nanopartículas son los anticuerpos monoclonales, la estreptavidina o algunos péptidos. Estos agentes de direccionamiento o marcadores se unen a la nanopartícula a través de enlaces covalentes. Las nanopartículas polivalentes pueden agruparse en los receptores celulares y pueden activar varias vías de señalización intracelular generando un anclaje más fuerte. Las nanopartículas monovalentes en cambio tienen un único sitio de unión.

Las nanopartículas magnéticas más ampliamente utilizadas para la hipertermia magnética son las elaboradas con óxido de hierro, pues tienen la propiedad de ser biocompatibles y estables ante la oxidación además sus propiedades magnéticas les permiten tener una buena respuesta a la aplicación del campo magnético externo. Existen nanopartículas magnéticas de Cobalto (Co), Hierro (Fe) o aleaciones de hierro-cobalto (FeCo), pero las nanopartículas que mayor grado de magnetización tienen son las nanopartículas de óxido de hierro, es por esto que son las indicadas para utilizar, ya que van a tener el mayor nivel de interacción con el campo magnético que sea aplicado. El principal problema que se presenta con respecto a las nanopartículas metálicas se refiere a su protección contra la oxidación y la eventual toxicidad que genera en el cuerpo de los pacientes. Es por esto que es tan importante el recubrimiento polimérico para minimizar la interacción con los medios acuosos que permitan que se oxide más la partícula, o que genere reacciones tóxicas en el cuerpo.

Los principales desafíos para los investigadores para continuar desarrollando y aplicando esta tecnología y seguir investigando la viabilidad de este método de tratamiento es la caracterización de las nanopartículas o poder identificar adecuadamente cuales son los efectos de las nanopartículas en los tejidos biológicos, estudiar el campo magnético óptimo que genere la mejor respuesta de las nanopar-

tículas según su diseño y el diseño de la nanopartícula que le permita ser lo más selectiva posible para que el mayor porcentaje de ellas pueda llegar hasta las células objetivo y minimizar las pérdidas en otros tejidos y por excreción (6, 7).

De los distintos desafíos que se presentan, el más crítico es el diseño de las nanopartículas para que sean selectivas sobre las células cancerosas, lo cual está dado por sus marcadores superficiales, que a su vez contribuyen a diferenciar los distintos tipos de cáncer logrando mayor especificidad a la hora de maximizar la efectividad del tratamiento.

Las nanopartículas deben ser producidas de manera que sean un coloide magnético a base de agua, elaborado con magnetita (Fe_3O_4), de tamaños promedio de 25 nm y recubiertas con un polímero biocompatible de polietilenimina (PEI). El control preciso de las condiciones de fabricación de las nanopartículas es lo que garantiza un comportamiento constante por parte de las mismas. En el caso de que hubiera variabilidad en la fabricación de las nanopartículas tendríamos un comportamiento y resultados distintos cada vez que se aplicara el tratamiento. Es por esto que unas características constantes en las nanopartículas es lo que nos permite reproducibilidad con respecto a su calentamiento y a los valores de magnetización bajo diferentes condiciones (7) (Figura 3).

Hoy en día, las tecnologías basadas en nanopartículas magnéticas se aplican rutinariamente a los sistemas biológicos con fines diagnósticos o terapéuticos. El ejemplo más representativo puede ser la formación de imágenes a través de resonancia magnética (MRI), una técnica que utiliza las propiedades magnéticas de las nanopartículas para obtener imágenes.

La administración dirigida de fármacos, moléculas o nanopartículas basado en el diseño “inteligente” de las partículas es el próximo paso para terapias oncológicas, con la ventaja de que se logra el tratamiento mediante la entrega de una dosis mínima del nanocompuesto sólo a las inmediaciones del tejido objetivo o del tumor (8). Mejoras actuales en estas áreas de estudio se basan en dos temas principales, la funcionalidad de las nanopartículas con ligandos o agentes específicos que solamente interactúan con aquellos que hayan sido diseñados, en este caso células cancerosas, orientando así los

FIGURA 3:
ESQUEMA DE INYECCIÓN DE
NANOPARTÍCULAS MAGNÉTICAS Y LA APLICACIÓN DEL
CAMPO MAGNÉTICO EXTERNO
PARA GENERAR EL CALENTAMIENTO
AL INTERIOR DEL
TUMOR EN EL PACIENTE.

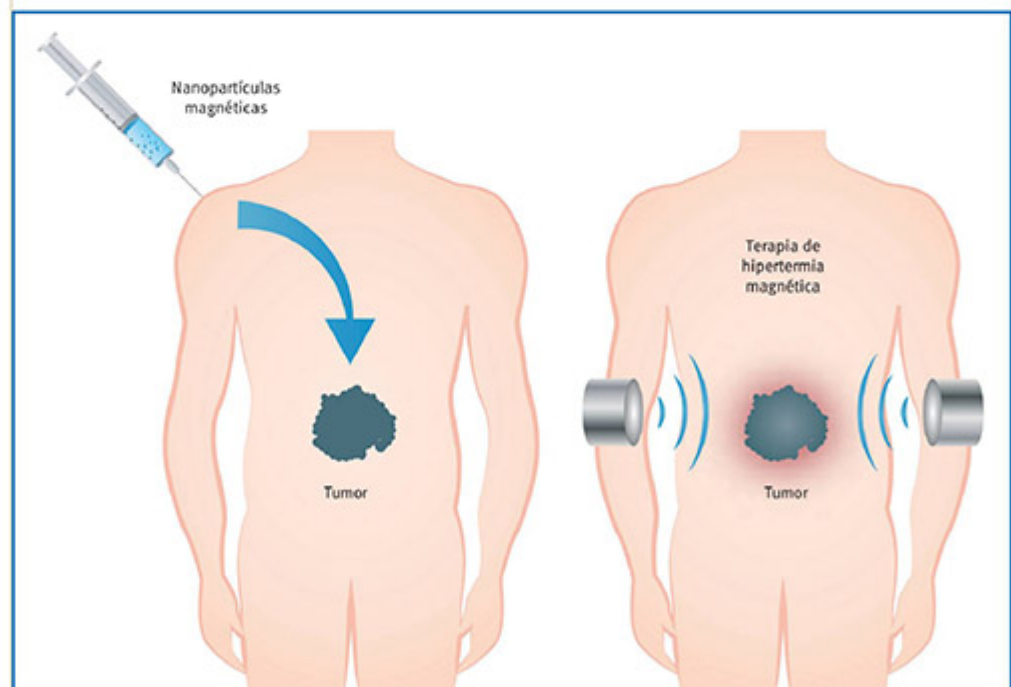




FIGURA 4:
EQUIPO DE HIPERTERMIA
MAGNÉTICA: GENERADOR
DE POTENCIA, PANTALLA Y
BOBINAS APLICADORAS DE
CAMPO.

nanocompuestos hacia los receptores de la membrana celular de las células objetivo, y segundo, lograr recubrir las nanopartículas para que se puedan desplazar adecuadamente al interior del organismo ya sea con polímeros o en vesículas (1, 2).

Se resalta la importancia de continuar investigando y revisando el estado actual de la tecnología sobre la funcionalidad de las nanopartículas para lograr generar tratamientos más eficientes para la terapia del cáncer. Dentro de los temas de estudio también están el lograr avances en su liberación selectiva y el evaluar el impacto esperado en los protocolos de hipertermia magnética.

REFERENCIAS

1. G. Barratt. Colloidal drug carriers: achievements and perspectives. *Cell. Mol. Life Sci.*, 2003, 60, 21
2. Hafeli, U.; Schutt, W.; Teller, J.; Zborowski, M. (Eds), "Scientific and Clinical Applications of Magnetic Carriers", Plenum Press, New York, 1997.
3. Jordan A. Size matters. How the tiny world of nanotechnology is having a big impact on the pharma industry. *Next Generation Pharma* 2007.
4. Jordan A. Thermotherapy using magnetic nanoparticles: principles and clinical application of nanotherapy. *EuroNanoForum Proc* 2005:76-80.
5. Jordan A, Scholz R, Wust P, Fähling H, Felix R. Magnetic fluid hyperthermia (MFH): cancer treatment with AC magnetic field induced excitation of biocompatible superparamagnetic nanoparticles. *J Magn Magn Mater.* 1999; 201: 413-419.
6. Stahl H, Wust P, Maier-Hauff K, Seebass M, et al. The use of an early postoperative interstitial-hyperthermia combination therapy in malignant gliomas. *Strahlenther Onkol.* 1995; 171: 510-524.
7. Mitsumori M, Hiraoka M, Okuno Y, et al. A phase I and II clinical trial of a newly developed ultrasound hyperthermia system with an improved planar transducer. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 1996; 36: 1169-1175.
8. Guthkelch AN, Carter LP, Cassady JR, et al. Treatment of malignant brain tumors with focused ultrasound hyperthermia and radiation: results of a phase I trial. *J Neurooncol.* 1991; 10 (3): 271-284.

A young boy with brown hair and glasses is shown from the chest up, sitting at a desk and typing on a light-colored computer keyboard. He is looking directly at the camera with a neutral expression. The background is a dark blue-grey color with vertical columns of white and light blue numbers and symbols, including '0', '1', 'x', 'c', '1', '2', '3', '4', '5', '6', 'u', 'w', and 'v', creating a digital or data-stream effect.

LA REVISTA
INNOVACIÓN
Y CIENCIA
PASA A ESTAR
**“A UN SOLO
CLIC”**

MARÍA ÁNGELA CORTÉS

PERIODISTA ACAC

maria.cortes@acac.org.co



EDUARDO POSADA

Presidente de la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia (ACAC). Físico, científico y líder en el país en políticas de ciencia, tecnología e innovación. Director del Centro Internacional de Física (CIF) y profesor emérito de la Universidad Nacional de Colombia.

La revista *Innovación y Ciencia* de la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia es una de las revistas de ciencia más importantes del país. Desde 1992 ha llegado tanto a conocedores del tema científico como a docentes, estudiantes y asociados, así como a personas que simplemente se encuentran interesadas en estos temas. Con un tiraje de 5.000 ejemplares, la publicación ha sido una guía para entender los últimos desarrollos en Colombia y en el mundo, las innovaciones tecnológicas, el cuidado del medio ambiente y muchos otros temas de carácter científico.

Adaptándose a las nuevas tecnologías y a la nueva forma de leer de su público, la revista se dispone a realizar un cambio importante: pasa de ser una versión física a una digital, buscando que la gente la pueda leer “con un solo clic”. Es una idea que tenía la ACAC desde hace mucho tiempo y al fin logró su cometido: a partir del segundo semestre de 2016, ya se podrá encontrar la revista en internet, y los asociados y el resto de personas interesadas podrán disfrutar de la lectura y seguir recreándose con sus imágenes y su color.

Conscientes de que es un proceso complejo, el comité editorial de *Innovación y Ciencia* ha decidido entrevistar a una de las personas que más conoce del tema de tecnología y de innovación en Colombia, y quien es actual presidente de ACAC, el Doctor Eduardo Posada, quien nos explicó la importancia del cambio de pasar de lo físico a lo digital.

ACAC: La revista *Innovación y Ciencia* pasa de ser un documento impreso a una plataforma digital. ¿Por qué razón hoy en día es importante hacer ese cambio, sobre todo para ACAC?

EP: La revista le pertenece a la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia, y como su nombre lo indica, nuestra misión es contribuir al avance de la ciencia, lo cual debe verse reflejado en el manejo de las tecnologías, en permitir y estimular la digitalización y virtualización de la información. Estamos obligados a ser abanderados en muchos temas y creo que estábamos en mora de hacer esta transición, era importante dar ese paso. Una entidad que trabaja para el desarrollo de la innovación en el país tiene que ser pionera y aprovechar las bondades que ofrece este mundo moderno. Estamos seguros de que este cambio nos dará mayor cobertura, más alcance, de manera que creo que va a ser muy positivo para la Asociación. Obviamente, al comienzo habrá que ajustar las cargas, habrá que acostumbrarse, el tema no es trivial, pero creo que el resultado va ser muy provechoso para nuestro futuro.

FIGURA 1:
EDICIÓN ESPECIAL DE LA
REVISTA EN 2011 SOBRE EL
AÑO INTERNACIONAL DE LA
QUÍMICA



ACAC: Hay gente que les gusta tener una revista, un libro en sus manos y leer así su contenido. Es un punto de vista algo romántico y clásico para algunos, poder sentirlo, olerlo, a esas personas se les dificulta abandonarlo. En ese caso, ¿cómo convencerlos para que se animen a ver la revista en un formato digital?

EP: Es un cambio cultural que se está dando en el mundo. Hoy los niños nacen con el celular y el computador al lado de la cuna y crecen en el mundo digital. Ellos no tienen ningún problema en leer en una pantalla, en un computador (Figura 2). Para los mayores la cosa no es tan sencilla. Yo soy de los que comparto que un libro es un objeto muy lindo, una revista bonita sigue siendo una cosa muy importante, sin embargo, estos no van a terminar desapareciendo, el libro como objeto de arte, como manera de informarse, va a ser parte de nuestra cultura por muchos años más. La lectura en medios físicos todavía tiene larga vida. Lo que representa pasar la revista I&C de formato físico a digital es mostrar y aceptar que estamos pasando por un proceso de transición y que queremos ofrecerles a estas nuevas genera-

ciones, estas que nacen en el mundo digital, los temas de ciencia y tecnología en el formato en el que ellos más cómodos se sienten. A diferencia de nosotros, ellos no tienen que acostumbrarse, los que tenemos que hacer la transición somos nosotros.

El mundo va a seguir desarrollándose y como nosotros no podemos saber cuál va a ser el próximo paso de esta evolución, solo debemos estar atentos a entrar en ella, adaptamos y buscar la forma de convencer a nuestros lectores de que hagan lo mismo. Es probable que muchos de ellos lleguen a tener más información y más actualizada, es probable que tengan mecanismos distintos de conseguirla, sin embargo, nosotros seguiremos luchando por mostrar los avances de la ciencia y la tecnología con nuestro formato clásico, adaptado al mundo moderno.



FIGURA 2:

LOS NIÑOS ACTUALMENTE
SE SIENTEN CONFIADOS AL
APRENDER DESDE LA FORMA
DIGITAL.

ACAC siempre ha apoyado la ciencia en Colombia y su información a través de la revista *Innovación y Ciencia*, que tiene una cobertura local. Al hablar de una revista digital, que puede ver una persona en cualquier parte del mundo y “con un solo clic”, ¿qué expectativas se podrían generar al dar a conocer la información de lo que se hace científicamente en Colombia pero a nivel internacional?

EP: Esta es una nueva ventana para mostrar que en Colombia se están haciendo cosas y que nuestra comunidad no está conformada por uno o dos científicos, sino que somos muchísimos. Es muy importante que tanto los colombianos que viven fuera del país, así como el mundo entero, sepan lo que está pasando en el país. Pero también necesitamos generar una estrategia de doble vía y lograr que la información entre al país. La gente no sabe que en Colombia somos 20.000 personas o más las involucradas con la ciencia, que tenemos muchos colombianos muy reconocidos a nivel internacional y varios candidatos cercanos a premio Nobel (Figura3). Con esta revista virtual aumentará la posibilidad de lograr mayor cobertura y mucha más visibilidad.

FIGURA 3:

EN COLOMBIA HAY ALREDEDOR DE 20.000 O MÁS PERSONAS INVOLUCRADAS CON LA CIENCIA QUE SON ALTAMENTE COMPETENTES TANTO A NIVEL NACIONAL COMO INTERNACIONAL.



ACAC: Ud considera que a través de las redes sociales se puede ayudar a que la gente se interese y aprenda sobre ciencia?

EP: La idea es que el público sea más interactivo, que participe más, lo que se facilita mucho más con una revista digital que con una en físico. Nosotros sabemos que *Innovación y Ciencia* impresa es muy bonita y ha sido muy reconocida por ello desde hace unos años, pero lo que no logramos fue la posibilidad de interacción con el público, la cual siempre fue muy poca. Es decir, no habíamos logrado que los interesados escribieran comentarios, críticas sobre ciencia. Yo pienso que ahora va a ser más fácil ese contacto con el entorno, mucho más cercano.

FIGURA 4:

HOY EN DÍA LAS PERSONAS SE SIENTEN MÁS CONECTADAS ENTRE SÍ GRACIAS A LAS REDES SOCIALES Y PUEDEN COMPARTIR DESDE EXPERIENCIAS PERSONALES HASTA CONOCIMIENTO.



"Colombia Tiene su Ciencia" es una plataforma digital de videos creada recientemente por ACAC, que va a ir informando paralelamente con la revista. Estos videos están hechos principalmente para que la gente se entere que en el país se hace ciencia y que, además, en el día a día de cada persona hay ciencia. Es una apuesta interesante teniendo en cuenta que la gente ve el tema de forma seria. ¿Se podría decir que ACAC está apostándole a mostrar la ciencia de una manera más entretenida?

EP: El público en general, en un país como el nuestro, está convencido de que la ciencia tiene que ver con Einstein y señores raros que hacen cosas esotéricas que nadie entiende mucho, y además se piensa que esas actividades de innovación lo deben hacer los países industrializados porque, a la hora de la verdad, aquí no hay dinero. Pero la gente no se da cuenta de que sin ciencia no habría electricidad, por ejemplo, ¿y qué pasaría con el mundo sin electricidad, por no citar sino un caso? La gente no cae en cuenta de que un teléfono celular es pura ciencia y le debe mucho a Einstein, sin ir más lejos. Además la gente piensa que lo del iPhone se lo inventó Steve Jobs en una noche de inspiración y que esas ideas crecen espontáneamente en los árboles, pero lo que no se sabe es que detrás de la tecnología que usamos diariamente hay una cantidad inmensa de ciencia. Por otra parte hay ciencia que se refiere más a los problemas como país, como es el caso del tema ambiental, el ahorro de energía, la agricultura, la salud, todo eso tiene unos componentes de ciencia fundamental que nos tocan directamente a un país como el nuestro, y eso hay que mostrarlo de la forma más natural posible para que la gente se interese y se dé cuenta de que la ciencia no es aburrida.



FIGURA 5:

"COLOMBIA TIENE SU CIENCIA" ES UNA PLATAFORMA DIGITAL CREADA POR ACAC QUE LE APUESTA, A TRAVÉS DE VIDEOS, AL ENTENDIMIENTO DE LA CIENCIA DEL DÍA A DÍA Y QUE EN TODO LO QUE VEMOS Y VIVIMOS HAY UNA EXPLICACIÓN CIENTÍFICA.

Finalmente, ¿cuáles son las metas desde el tema de la comunicación de ACAC para 2016?

EP: ACAC se ha posicionado en cierto sector, nos han conocido, saben más de nosotros por los diplomados y otras actividades, pero a mí nunca se me ha olvidado que Colombia tiene casi 50 millones de habitantes y el sueño que siempre hemos tenido es llegarle a un mayor cubrimiento. Nosotros tenemos 500, 600 asociados y deberíamos tener 10.000. Pero además de llegarle a mucha más gente, confío y espero que a través de la revista digital, las redes sociales y otros medios, empecemos a calar y a tener mayor impacto en la población; de lo contrario, vamos a influir en un círculo pequeño en el cual hoy tenemos ya un espacio reconocido. ACAC y la revista tienen en su mente generar un cambio cultural en todo el país y a todos los niveles. Por eso necesitamos que la revista llegue a esta gran población.

Aedes Aegypti, MOSQUITO TRANSMITIENDO MÁS Y MÁS VIRUS: EL ZIKA, SU CUARTO PASAJERO



MARÍA FERNANDA GUTIÉRREZ

VIRÓLOGA UNIVERSIDAD JAVERIANA

mfgutier@javeriana.edu.co

RESUMEN

Ébola, chikungunya y Zika son tres virus que han aparecido recientemente en la población mundial. Excepto el primero, los otros comparten vector con los virus de la fiebre amarilla y del dengue: el mosquito Aedes Aegypti, motivo por el cual solo quedan expuestas a la infección aquellas personas que viven en las zonas donde habita. En este artículo se describe la historia de la llegada de estos virus a nuestro país, su impacto epidemiológico y algunos problemas causados por el despliegue mediático que los ha convertido en actores principales de eventos aún no completamente diagnosticados.

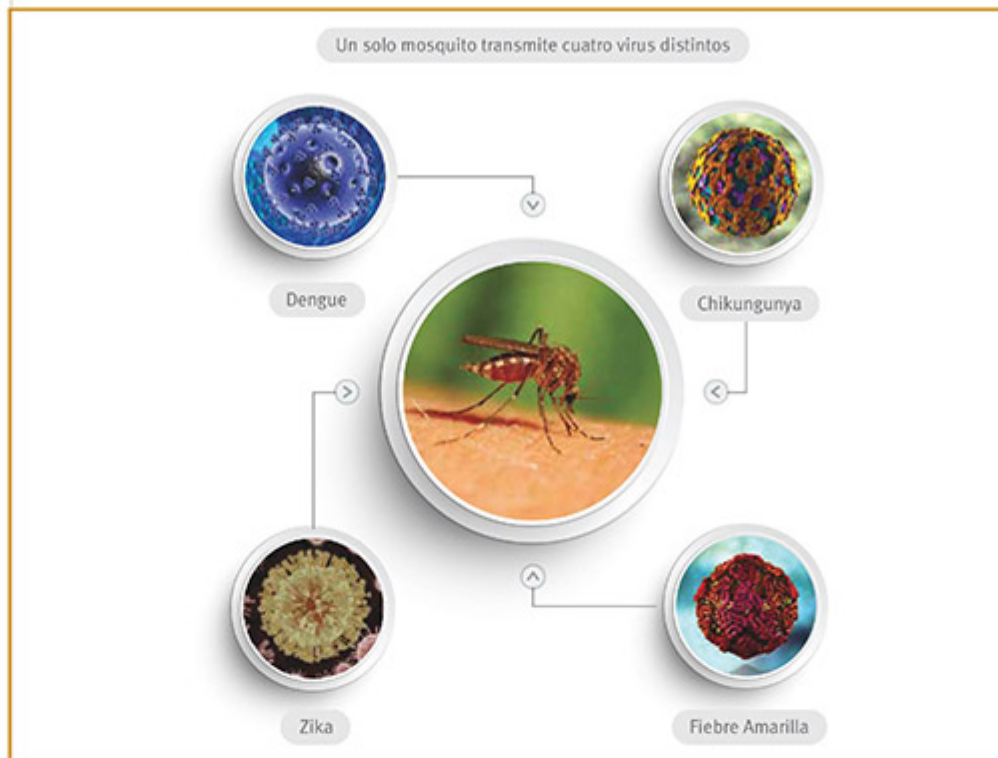
Y los virus siguen llegando desde África. En los últimos años hemos oído hablar del ébola, un virus residente de Zaire (actual República del Congo) que apareció allí desde 1976 y trató de viajar por el mundo por última vez en 2013, pero no lo logró. Pocos meses más tarde el turno le correspondió al chikungunya (CHKY), aislado por primera vez en Tanzania y en Mozambique en los años 50 y lo vimos entrar a Colombia a finales de 2014, asegurando que venía para “quedarse” entre nosotros de forma endémica. Pero la atención que tuvimos que poner para estudiar su comportamiento epidemiológico se vio opacada por la llegada de un tercer emergente en las Américas. Se trata del Zika, otro virus transmitido por el mismo mosquito de la fiebre amarilla, el dengue y el CHKY. (Figura 1)

Varias preguntas surgen de este comportamiento tan particular. ¿Por qué están apareciendo tantos virus similares, que producen enfermedades cuyos síntomas no son fáciles de diferenciar y en periodos de tiempo tan cortos? ¿Por qué están todos ellos en África? ¿Por qué es el mosquito *Aedes Aegypti* el mismo vector para todos ellos (no para el Ébola pero sí para los demás)? ¿Qué le pasó el CHKY que venía para quedarse y parece que desapareció? ¿Vienen más virus después del Zika?

Su historia no es muy distinta a la de los otros arbovirus que lo antecedieron. Al igual que el CHKY que se mantuvo restringido a Uganda, Tanzania y Nigeria, el Zika se limitó a Uganda, específicamente en los bosques de Zika donde existe desde 1947 y desde donde viene infectando seres humanos desde 1952. Apareció en Colombia en octubre de 2015 mientras que el CHKY lo hizo un año antes, a finales de 2014.

La historia del Zika también ha reportado varios intentos por salir del África para establecerse en América. Uno fue en 2007 cuando se registró la infección en la isla de Yap, en la Micronesia (Océano Pacífico). Allí atacó principalmente la población infantil pero desapareció. Su siguiente aparición fue

FIGURA 1:
LA HEMBRA DE *Aedes Aegypti*
TRANSMITE CUATRO DE LOS
ARBOVIRUS QUE CIRCULAN
EN COLOMBIA.



a finales de octubre de 2013 con un brote en la Polinesia Francesa, donde afectó cerca de 10.000 personas, mostrando una muy baja mortalidad pues se reportaron solo 70 casos graves en las personas sintomáticas. Para febrero de 2014 llegó a América entrando por Isla de Pascua, en Chile. Fue allí donde se encontró el primer caso autóctono de infección viral, lo cual significa que fue el primero reportado en alguna persona residente de ese lugar y que no había salido de allí recientemente, implicando que tuvo que haber sido picada por un mosquito que ya contenía el virus y que estaba empezando a esparcir la infección entre los pobladores.

Una vez llegó al continente americano, rápidamente se instaló en Brasil, especialmente en dos ciudades donde se reportaron casos autóctonos y una fuerte diseminación. Se trató de Recife y Salvador de Bahía, las cuales no solo parecieron convertirse en laboratorios de investigación del comportamiento viral sino también en una gran fuente de especulación para la prensa puesto que es allí donde se generó gran alarma referente a la mortalidad, la transmisión y la sintomatología.

Dentro de las especulaciones que estamos teniendo están la capacidad de producir microcefalia y la posibilidad de ser transmitida por contacto sexual, dudas que vamos a ir dilucidando una vez se tengan pruebas de laboratorio que permitan realizar diagnósticos masivos, es decir, a todo aquel que sufra de síntomas o que desee saber si tiene alguna de estas dos patologías: Zika o CHIKV. Es que uno de los grandes problemas que se tienen para estos dos virus es que no se cuenta con pruebas diagnósticas para realizar el seguimiento a la población. No hay una prueba serológica (que detecte los anticuerpos que el organismo produce cuando está en contacto con el virus) con la que se diagnostique de manera rápida y certera a todo aquel que tenga la sintomatología.

Actualmente, para realizar esta labor, se tiene estandarizada la prueba molecular llamada PCR o Reacción de Polimerasa en Cadena, que no se le puede realizar a todos los sintomáticos ni se puede manejar como prueba de rutina; es, además, costosa, demorada y solo se realiza en laboratorios especializados. Con ella se han adelantado las investigaciones tendientes a entender el comportamiento viral, pero se requiere de pruebas más sencillas y rápidas para evacuar al gran número de personas que padecen de su sintomatología.

Si observamos lo sucedido con la microcefalia y su asociación con el Zika, esta afirmación no podrá ser confirmada hasta que hayan pasado al menos 9 meses después del inicio de los brotes en el país. De hecho, en Brasil, es en el mes de marzo de 2016 cuando se ha de evidenciar una verdadera relación de esta patología con el Zika. Para Colombia, el mes para aclarar esta relación es en mayo, cuando han transcurrido nueve meses de la primera aparición del virus.

Una vez se llegue al momento del nacimiento de todos estos bebés de la “era del Zika”, se deberán realizar estudios en los que se verifique una verdadera relación causa-efecto, pues no por encontrar un virus en un niño con cierta patología se puede inmediatamente concluir que fue el causante de la misma. Son los estudios epidemiológicos, llamados de “casos y controles” que involucran herramientas estadísticas, con los que se puede afirmar si este virus es el causante del problema. Por ahora, lo que tenemos es solo un aumento en los casos de microcefalia y, de manera simultánea, una aparición de un virus emergente, que no conocemos pero a quien le tenemos mucho temor.

Por el tiempo en que hemos convivido con el Zika ya se tienen varias cosas claras: es otro arbovirus (virus transmitido por artrópodos como los mosquitos), es contagiado por el *Aedes Aegypti* por medio de la picadura, su periodo de incubación está entre tres y 12 días, un alto número de las personas que se infectan no muestra la sintomatología clásica que incluye poca fiebre, dolor en la parte anterior de los ojos, conjuntivitis, erupción en todo el cuerpo y algo de dolor en las articulaciones. También se sabe que existen dos linajes virales, uno llamado asiático que es el que se esparció por el mundo, y el otro llamado africano que parece permanecer restringido a ese continente (Yasri, S.,) (Figura 2).

No podemos ignorar que estamos atravesando una época de grandes cambios en el comportamiento del clima, proceso denominado calentamiento global, en donde la temperatura se está viendo alterada, modificando los ciclos del agua y trayendo como resultado una alteración en los comportamientos epidemiológicos, sobre todo de las infecciones virales. La duda que surge es si este calentamiento global aumenta el número de virus o si, por el contrario, lo que aumenta es el número de mosquitos.

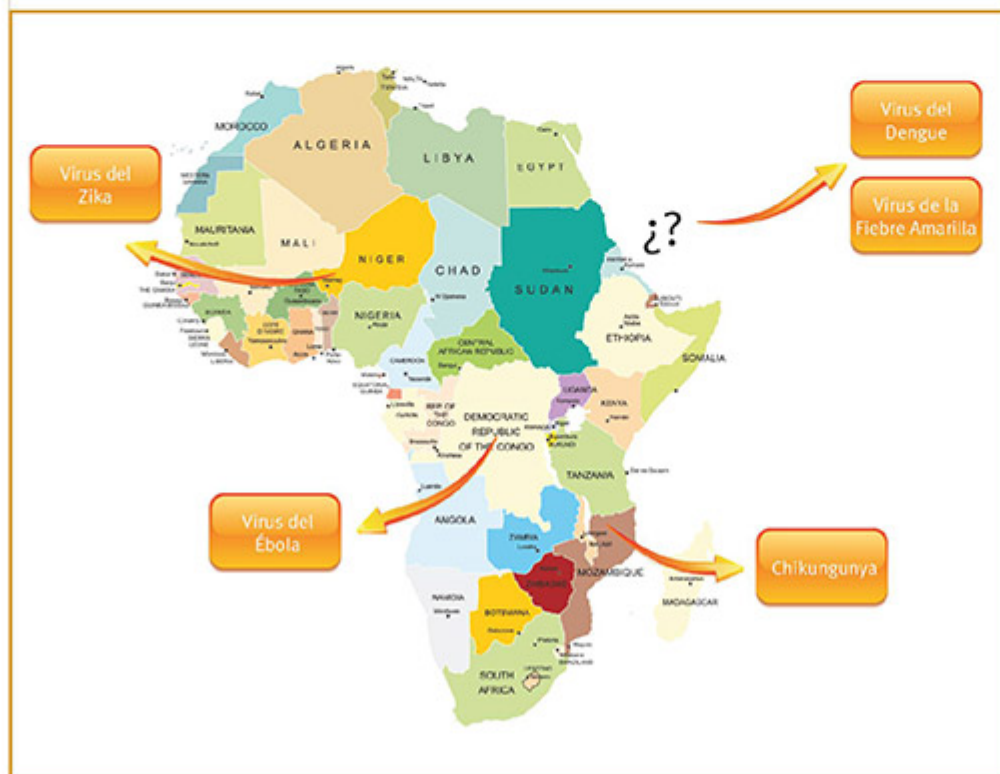


FIGURA 2:
ÁFRICA, EL CONTINENTE
DE DONDE MIGRAN MUCHOS
DE LOS VIRUS QUE LLEGAN
A AMÉRICA.

La respuesta parece incluir ambos, sin embargo se hace mucho más evidente en el número de moscos pues se facilitan las condiciones de humedad y de temperatura que favorecen su reproducción.

Otro factor que ayuda a aumentar el número de moscos es el incremento en el número de lugares del mundo donde se pueden reproducir, ya que requieren de temperaturas cercanas y mayores a los 25°C y, con el calentamiento global, hemos visto cómo hay ciudades en las que actualmente se logra esta temperatura fácilmente. Con un mayor número de mosquitos, mayor número de vectores para estos virus.

Es importante recordar que en el ciclo de la fiebre amarilla y el del dengue se involucran otros mosquitos además del *Aedes Aegypti*. También está el *Aedes Albopictus*, conocido como el “mosquito tigre”, que se reproduce en el agua limpia depositada en espacios como los neumáticos que se dejan al aire libre y que recogen las aguas lluvias, depositándose allí por varios días y semejando al ambiente de las selvas húmedas, su hábitat natural. A esto le podemos incluir la globalización, los altos índices de desplazamiento que vivimos actualmente, lo que le permite al mosquito atravesar continentes y llegar a nuevos espacios similares, donde se adapta y encuentra poblaciones completamente susceptibles de ser infectadas por patógenos desconocidos como lo han sido el Zika y el CHKY.

En resumen, tanto por el aumento de la temperatura como por el cambio en el ciclo del agua, el incremento del transporte aéreo y del comercio internacional, el gran flujo de viajeros y la globalización mundial son los principales factores que contribuyen al aumento de infecciones virales por este tipo de arbovirus que están entrando a nuestro país.

Y es que el Zika no parece ser el último que nos llegue. Si bien especular respecto a esto no es fácil, ya se tienen indicios de otro de estos virus que está cerca. Se trata del mayaro, reportado en Venezuela y que produce una infección inespecífica, poco letal que también se confunde con dengue, pues se asocia con artralgias poco incapacitantes. Entre los pocos reportes de este nuevo agente se tiene que fue aislado en 1954 en Trinidad y Tobago, también es transmitido por artrópodos pero, en este caso, el mosquito es el *Haemagogus*. En cuanto a su sintomatología es similar al Zika y al dengue pues presenta dolores en las articulaciones y, para su diagnóstico, las pruebas hacen reacciones cruzadas con el CHKY, lo cual dificulta su estudio. (Muñoz, M)

Al seguir especulando nos encontramos con un quinto virus por llegar: su nombre es alkhumra, otro arbovirus del género de los flavivirus igual que el Zika. De él sabemos menos que del anterior pero quisiera sembrar esperanzas para que este y otros nuevos virus no sigan asechando a nuestros países tropicales.

FIGURA 3:
Aedes Aegypti.



TABLA 1: CUADRO COMPARATIVO DE LOS CUATRO ARBOVIRUS QUE CIRCULAN ACTUALMENTE EN COLOMBIA (CHANG, J).

	FIEBRE AMARILLA	DENGUE	CHIKY	ZIKA
Clasificación	Flaviviridae	Flaviviridae	Togavirus	Flaviviridae
Transmisión	Aedes Aegypti	Aedes Aegypti	Aedes Aegypti	Aedes Aegypti
Serotipos o formas variantes	Uno solo	4 serotipos	4 lineajes	2 lineajes
Presencia viral sin sintomatología	0%	5-30%	5-35%	80%
Mortalidad	50-60%	1-5%	0	0
Sintomatología	Fiebre, piel color amarillo, hemorragias, problemas hepáticos, renales, cardíacos	Fiebre, dolor de cabeza, dolor retroorbital, erupción en piel, dolores articulares y musculares. Fiebre quebranta huesos. Muerte en dengue severo	Fiebre, brote, dolores musculares, dolores articulares, poliartritis, diarrea, vómito y dolor abdominal	Fiebre, dolor de cabeza, conjuntivitis, brote papular, rasquiña, dolor en las articulaciones, maculopapular, inflamación en extremidades, úlceras orales
Diagnóstico	Bajo recuento de glóbulos blancos, bajo el número de plaquetas, aumento de las enzimas hepáticas, glóbulos rojos concentrados, prueba del torniquete positiva, pruebas de coagulación alteradas.	Bajo recuento de glóbulos blancos, bajo el número de plaquetas, aumento de las enzimas hepáticas, glóbulos rojos concentrados, prueba del torniquete positiva, pruebas de coagulación alteradas.	Pruebas de laboratorio poco alteradas. Diagnóstico con prueba de PCR	Pruebas de laboratorio poco alteradas. Diagnóstico con prueba de PCR

REFERENCIAS

1. Chang, J., Choi, G., et al Zika fever and congenial Zika syndrome. Journal of infectious. In press 2016
2. Yasri, S., Wiwanitkit, V. New human pathogenic dengue like virus infections (Zika, Alkhumraand Mayaro viruses): a short review. Asian Pac J Trop Dis 2015; 5(Suppl 1): S31-S32.
3. Muñoz, M.; Navarro, J.C. Virus Mayaro: un arbovirus reemergente en Venezuela y Latinoamérica. Revista Biomédica Vol 3 Num 2.

LOS
EXPERIMENTOS
MENTALES
COMO RECURSO EPISTEMOLÓGICO
EN LA FÍSICA

LUCERO ÁLVAREZ MIÑO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA,
SEDE MANIZALES

lalvarezm@unal.edu.co

RESUMEN

La física es considerada un área del conocimiento cuyo lenguaje es la matemática y cuya prueba de verdad son los experimentos. En realidad, esta ciencia, como otras, utiliza herramientas entre las que se encuentran los experimentos mentales, que no son exclusivos de esta disciplina pero que han encontrado en ella un nicho para su desarrollo y diversificación. A continuación se relata qué es un experimento mental y se discuten algunos de los ejemplos más conocidos.

1. Conociendo en física

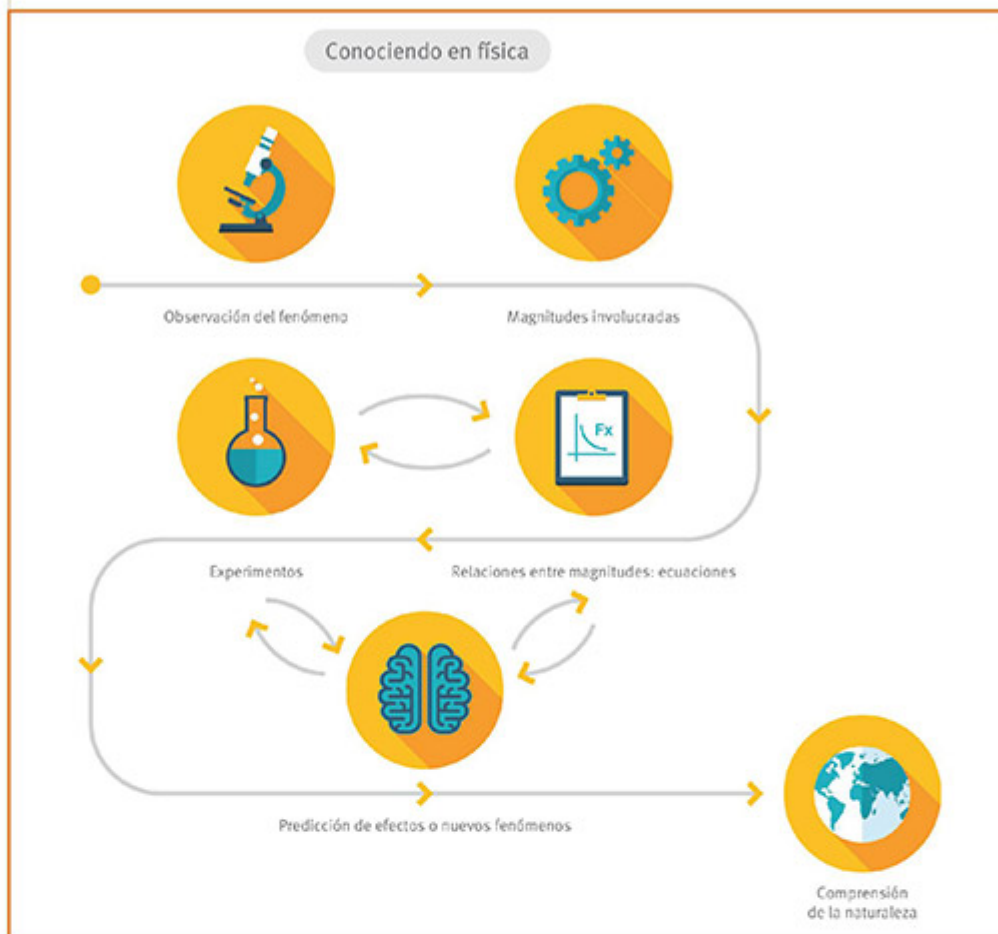
La física comenzó a forjarse como una ciencia independiente en el siglo XVII. Su modo de conocer se caracterizó, desde sus inicios, por el estudio del fenómeno en particular y no la comprensión del universo en su totalidad (1). Dentro de esta dinámica, a partir de observaciones, se realiza una descripción de un fenómeno específico que se formaliza mediante la matemática y, con ella, se espera predecir nuevos efectos o comportamientos. Estos rasgos, que se pueden considerar como el fundamento del método científico, son los que caracterizan hasta el día de hoy el conocimiento en física.

El proceso de conocer en la física se podría resumir, como lo muestra el infograma (Figura 1) donde, con las flechas azules, se enfatiza que existe retroalimentación: se hacen predicciones, se vuelve al experimento, se revisa la teoría y se vuelve a la comprobación práctica.

Un fenómeno se puede observar espontáneamente en la naturaleza o, en una inmensa mayoría de casos, se busca recrearlo controlando ciertas variables. Es tal la sofisticación en la física experimental que hace ocho años se puso en funcionamiento el colisionador más costoso del mundo, conocido como LHC por sus siglas en inglés, o el gran colisionador de hadrones (son un tipo de partículas subatómicas; por ejemplo, los protones son hadrones). Con ayuda de este acelerador se encontró en 2012 (2) el Bosón de Higgs (fundamental en el entendimiento de por qué las partículas tienen la masa que tienen), para lo cual prácticamente se recrearon momentos posteriores a lo que se considera el origen del universo: el *big bang* o la gran explosión.

Sin embargo, en el quehacer de los físicos, además de la teoría y el experimento, comienza a posicionarse un tercer procedimiento: la simulación computacional. Dado que tanto las herramientas teóricas como las experimentales se han tornado más sofisticadas y especializadas y, particularmente,

FIGURA 1:
INFOGRAMA DE LAS ETAPAS
DEL CONOCIMIENTO EN FÍSICA



cuando el desarrollo de un experimento es complicado (costos, dificultades técnicas), es razonable realizar una simulación computacional previa y, a partir de los resultados, diseñar el experimento real y revisar la teoría, etc. Así son tres jugadores (teoría, experimento y simulación) que se interrelacionan y que parecen igualmente necesarios para acercarnos mejor al objetivo de la física: la comprensión de la naturaleza.

Puede resultar difícil de creer que los experimentos en física no sólo son reales sino que pueden ser *mentales*. Puede sonar aún más extraño en la actualidad cuando se cuenta con computadores con suficiente capacidad de procesamiento y altamente rápidos. ¿Por qué entonces no simular en lugar de *imaginar*? En las secciones que se plantean a continuación se presentará el porqué de los experimentos mentales y sus contribuciones a la física.

2. Experimentos mentales vs. experimentos reales

El llamado experimento mental o *gedankenexperiment* (nombre de origen alemán acuñado, al parecer, por el físico danés Orsted) se considera que apareció inclusive con los presocráticos (3). Un experimento mental es más que prever los resultados que un experimento real puede arrojar; de hecho, cada vez que se prepara un experimento se lanzan hipótesis sobre los resultados que se pueden obtener. Esta etapa de especulación, si se puede llamar así, es propia del método científico. De acuerdo con Brown (4), un experimento mental se debe definir estrictamente como aquel **que no se puede llevar a**

cabo. Puede ocurrir que la dificultad sea tecnológica y que más adelante su ejecución sea posible.

Hoy por hoy (5) se considera que la principal fortaleza de los *gedankenexperiment* es que pueden provocar la ampliación o reformulación de conceptos. Tal fue el caso del experimento mental del ascensor (se abordará más adelante), mediante el cual Einstein estableció la equivalencia entre gravedad y aceleración, base para la formulación de su relatividad general. Todo a partir de un experimento mental.

Thomas Kuhn, quien dedicara su vida a la epistemología de la ciencia, en el ensayo *"A function for the thought experiment"* (Una función para el experimento mental), señaló (6):

"Una crisis inducida porque no se cumple una expectativa, seguida por una revolución, está en el corazón de los experimentos mentales que hemos estado examinando. Igualmente, el experimento mental es una herramienta analítica esencial que se despliega durante la crisis y que promueve una reforma conceptual de raíz. Los resultados de los experimentos mentales pueden ser los mismos que los de las revoluciones científicas: pueden permitir a los científicos usar como parte integral de su conocimiento lo que antes ese mismo conocimiento les ocultaba. Es en este sentido en que los experimentos mentales cambian el conocimiento de los científicos del mundo".

Un experimento mental puede ser concebido para poner de manifiesto contradicciones de una nueva teoría, criticar la estructura de la misma o, algo difícil para un experimento real, exagerar sus consecuencias.

Kuhn eleva el experimento mental al mismo nivel del experimento real y considera que su función principal es la de evaluar conceptos. Mediante el ejercicio mental se puede llevar el experimento a otra escala y poner a prueba conceptos, ampliarlos o reconocer que existe una crisis, encontrar contradicciones y hasta a generar un nuevo paradigma (3).

Para la muestra un botón: algunos experimentos mentales en física

3.1. CAÍDA LIBRE DE GALILEO GALILEI

Uno de los experimentos mentales más famosos en física es en el que Galilei (1564-1642) contradice abiertamente a Aristóteles (384 a.C.- 322 a.C.). Según este último, los objetos caen con diferente aceleración según su masa: los objetos más masivos con mayor aceleración, y aquellos menos masivos a menor aceleración. En principio todos estaríamos de acuerdo con Aristóteles, pues es lo que observamos cotidianamente. Así, si tenemos una piedra y una pluma, la pluma cae más lento y lo contrario ocurre con la piedra, y según Aristóteles esto es debido a sus masas: la pluma es más liviana que la piedra.

Pensemos el experimento de Galileo. Imaginemos que la piedra y la pluma están atadas de alguna manera formando un sistema pluma + piedra. Este sistema caerá más rápido que la piedra sola, según el razonamiento aristotélico, pues tenemos ahora un sistema más masivo. Sin embargo, la pluma, que por ser menos masiva cae más lento, debería provocar que todo el sistema pluma + piedra se frenara, cayendo más lentamente que la piedra sola. Siguiendo a Aristóteles, llegamos a una contradicción: la piedra + pluma caerá más rápido que la piedra y también más lento que la piedra. Por tanto Aristóteles debe estar equivocado y, en realidad, todos los cuerpos deben llegar al suelo con la misma velocidad y al mismo tiempo porque adquieren la misma aceleración de caída (4) (7). ¿Por qué esto no es lo que vemos en la cotidianidad? Porque hay otro cuerpo que participa en el movimiento: el aire. Esto fue lo que Galilei, razonando genialmente, concluyó. El tiempo de caída se determina por la interacción con el

aire y depende del material y de la forma del objeto. Se podría alegar que este experimento mental de Galileo no se ajusta a la realidad que observamos y, por tanto, no es justo decir que Aristóteles estaba equivocado; sin embargo, el experimento mental de Galileo apunta al corazón del problema.

Para Aristóteles, la velocidad de caída dependía de la masa del objeto; lo que devela el razonamiento de Galileo es que la esencia del fenómeno observado en nuestro planeta no está en la masa del objeto, si es más liviano o más pesado, sino en el hecho de que el aire participa con su resistencia. Galilei se basó en experimentos reales pero generalizó al imaginar qué ocurriría si no hubiera aire. Y este proceso conllevó a cambiar una observación particular, que los cuerpos pesados caen más rápido que los livianos, por una ley general: en presencia solo de la fuerza gravitacional, todos los cuerpos caen con la misma velocidad.

Es posible que el lector en este punto no esté satisfecho con el experimento mental de Galilei. Le proponemos entonces realizar un experimento real que fácilmente destruye el razonamiento aristotélico sobre la caída de los cuerpos. Tranquilizamos al lector pues no necesitará generar ningún tipo de vacío. Simplemente tome una hoja de papel en una mano y un libro en la otra. Suéltelos al mismo tiempo. ¿Qué observa? Ahora, coloque la hoja sobre el libro y suelte este sistema hoja-sobre-libro. ¿Qué ocurre ahora? (8)

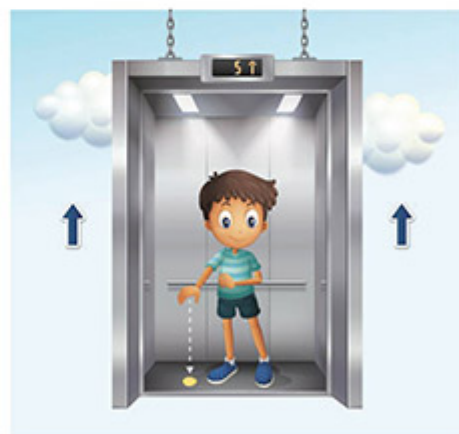
3.2. EL ASCENSOR DE EINSTEIN

Continuando con los ejemplos de experimentos mentales, subamos a un ascensor que tiene una característica especial: es de paredes opacas, quienes están dentro no pueden saber qué pasa afuera. El experimento lo protagonizará Juanito y él no lo sabe, pero será sometido junto con el ascensor a dos situaciones diferentes:

- El ascensor quieto en el planeta Tierra.
- El mismo ascensor en algún lugar donde no actúa la fuerza gravitacional terrestre ni ninguna fuerza, lo único es que el ascensor se acelerará.

FIGURA 2:

IZQUIERDA: JUANITO SUELTA LA MONEDA EN EL ASCENSOR QUIETO SOBRE LA SUPERFICIE DE LA TIERRA. **DERECHA:** JUANITO SUELTA LA MONEDA EN EL ASCENSOR QUE SOLO ACELERA HACIA ARRIBA.



La pregunta a responder en cada caso es: ¿qué observa Juanito cuando suelta una moneda dentro del ascensor?

En la primera situación, la moneda cae vertical hasta tocar el piso del ascensor. Si ahora, estando en el espacio aislado, Juanito suelta la moneda y al mismo tiempo se acelera el ascensor en la dirección contraria, lo que observaría es que la moneda se mueve hacia el piso: cae verticalmente. Juanito

concluye que en ambos escenarios el comportamiento de la moneda es el mismo (Figura 2). Aquí reside el fundamento del principio de equivalencia de Einstein: los efectos de la gravedad y de la aceleración son los mismos. Einstein, sin embargo, fue más allá con su imaginación e indagó sobre los efectos que la aceleración puede producir sobre la luz. Si Juanito ve entrar un rayo de luz a través de un agujero por una pared del ascensor y éste se acelera hacia arriba, el rayo de luz atravesará el ascensor hasta incidir sobre la pared opuesta, pero a una altura inferior a la de entrada al ascensor. Es decir, la luz describe una trayectoria curva (Figura 3). Así Juanito, concluye Einstein, que si la aceleración puede curvar la luz, lo mismo puede hacer la gravedad, y en este último caso el efecto será detectable en la medida que la luz pase cerca de objetos muy masivos, como por ejemplo nuestro Sol. Si bien no fue necesario realizar el experimento del ascensor de Einstein, se pudo comprobar que la luz se curva por cuerpos celestes muy masivos. El experimento real se basó en la detección de la luz proveniente de estrellas cercanas al Sol durante un eclipse. El experimento demostró que por la curvatura de la trayectoria de la luz en cercanías del Sol, las estrellas parecen estar por debajo de la posición que se deberían encontrar si la luz viajara en línea recta.

Entonces, los experimentos mentales pueden tomar como base experimentos reales (el caso de Galileo) o, por el contrario, pueden proponer experimentos reales para comprobar las conclusiones obtenidas mentalmente (el caso del ascensor de Einstein).

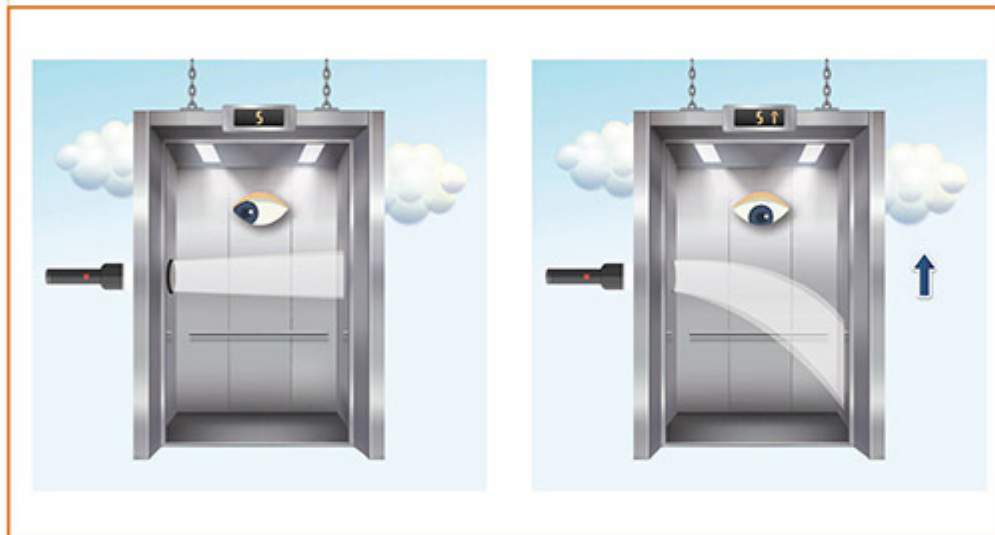


FIGURA 3:
LA LUZ SE CURVA (HAZ DE LUZ) POR LA ACELERACIÓN DEL ASCENSOR HACIA ARRIBA.

4. Debate alrededor de los experimentos mentales

Aquí se han descrito brevemente dos experimentos mentales, pero la lista en física es larga: desde la caída de los cuerpos de Galileo, pasando por Newton quien formuló más de un experimento mental, hasta la física moderna en donde se dio un verdadero auge a esta forma de razonamiento: el microscopio de Heisenberg, el demonio de Maxwell, el gato de Schrödinger, la paradoja de Einstein-Podolsky-Rosen, etc. Sin embargo, alrededor de los experimentos mentales existe una gran controversia entre los filósofos de la ciencia. De un lado están quienes consideran que esta es una verdadera herramienta que permite ampliar el conocimiento científico (5), mientras que otros ven los experimentos mentales solo como argumentaciones pintorescas (9), posición apoyada por los empiristas (10). En particular, el filósofo John Norton arguye que aunque los experimentos mentales critiquen ideas y conceptos, no generan nuevo conocimiento, son meros argumentos que refinan teorías o pueden refutarlas pero que, en todo caso, derivan de experimentos reales (Moue, 2006).

Por el contrario, para James Brown, un experimento que no es realizable, bien sea por imposibilidad tecnológica o de la naturaleza (viajar a la velocidad de la luz), entonces necesariamente debe ser pensado, mental. La clasificación de Brown de los experimentos mentales (4) (7) básicamente coincide con la de Karl Popper en que estos pueden ser críticos y heurísticos (3). Los primeros muestran que una hipótesis o suposición es errónea y los segundos abren un nuevo camino, el camino correcto.

La controversia continúa y, sin embargo, cada vez más filósofos de la ciencia reconocen el hecho de que a través de un experimento mental es posible, no sólo revisar un concepto sino, inclusive, llegar a reformularlo, generando conocimiento (3). En cualquier caso los físicos seguirán imaginando agujeros negros de gusano, viajes a velocidades cercanas a la de la luz, exploraciones al interior del átomo y todo, haciendo uso de su mente.

REFERENCIAS

1. Šebesta, J. Modern Physics Epistemology: Some Cultural Aspects http://www.ddp.fmph.uni-ba.sk/pomoc/historia_filozofia/epistemology/epistemology.html consultado 31 de enero de 2016.
2. CERN Press Release: CERN experiments observe particle consistent with long-sought Higgs boson - CERN Bulletin. (n.d.). <http://cds.cern.ch/journal/CERNBulletin/2012/28/News%20Articles/1459454?ln=en> consultado el 30 de enero de 2016.
3. Moue, A. S., Masavetas, K. A., Karayianni, H. Tracing the Development of Thought Experiments in the Philosophy of Natural Sciences. *Journal for General Philosophy of Science*, 37(1), 61-75, (2006).
4. Brown, J.R. Thought experiments since the Scientific Revolution, *International Studies in the Philosophy of Science* Volume 1 Number 1 (1986).
5. Brown, James Robert and Fehige, Yiftach, Thought Experiments, *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Fall 2014 Edition), Edward N. Zalta (ed.), <http://plato.stanford.edu/archives/fall2014/entries/thought-experiment/> consultado el 3 de febrero de 2016.
6. Johnson-Laird, P. N., Wason, P. C. A function for thought experiment (289-293). *Thinking: readings in cognitive science*. Cambridge: Cambridge Univ. Press. (1980).
7. Brown, J. R. (1-4, 17-20, 33-35, 45-48) *The laboratory of the mind thought experiments in the natural sciences*. London; New York: Routledge (1993). Recuperado de <http://site.ebrary.com/id/2003101>
8. InternetUrok.ru <http://interneturok.ru/ru/school/physics/10-klass/mechanikakinematika/svobodnoe-padenie-tel> consultado el 3 de febrero de 2016.
9. Norton, John D., On Thought Experiments: Is There More to the Argument? *Philosophy of Science* 71 (5):1139-1151 (2004)
10. Urbaniak, Rafal "Platonic" thought experiments: how on earth? *Synthese* 187:731-752, (2012)

SERVICIOS DE INNOVACIÓN Y COMUNICACIONES

NUESTRA OFERTA



Generamos valor a través del desarrollo de productos y servicios de comunicaciones. Somos conocedores del mundo de la Ciencia, Tecnología y la Innovación - CTel y sabemos cómo comunicar sus logros en esta área.

PRODUCCIÓN DE VIDEO

Institucionales, documentales y cortometrajes.

DISEÑO GRÁFICO

Piezas impresas, digitales, e imagen corporativa.

DISEÑO WEB

Soluciones web a la medida de nuestros clientes.

MERCHANDISING

Estrategias de mercadeo para su producto o servicio.

SOCIAL MEDIA

Manejo de medios digitales para la divulgación su mensaje.

FREE PRESS

Posicionamiento en medios de su producto o servicio.

COBERTURA DE EVENTOS

Resultados óptimos en la cobertura de sus eventos.

MAILING

Su mensaje a más de 40.000 personas y entidades.

REVISTA DIGITAL

Innovación & Ciencia - Publique sus artículos y pautas aquí.

MÁS INFORMACIÓN EN:

www.acac.org.co - acac@acac.org.co
Teléfonos: +57 (1) 432 0370 - (57) 316 418 6677
Carrera 16 No. 31A - 36 - Bogotá, D.C. Colombia



UNA MIRADA AL CULTIVO DE LOS PEPINOS DE MAR Y SU IMPORTANCIA ECOLÓGICA Y ECONÓMICA

ADRIANA RODRÍGUEZ FORERO

PROFESORA ASOCIADA. LABORATORIO DE
ACUACULTURA. GRUPO DE INVESTIGACIÓN Y
DESARROLLO TECNOLÓGICO EN ACUICULTURA.
FACULTAD DE INGENIERÍAS. UNIVERSIDAD DEL
MAGDALENA. SANTA MARTA, COLOMBIA.

arodriguezf@unimagdalena.edu.co

RESUMEN

*Los pepinos de mar tienen un gran valor ecológico y económico. Estos son comercializados en el mundo para ser consumidos como "seco-salado" o "bche de mer", costando hasta 300 dólares por kilogramo seco. En Colombia se ha logrado su mantenimiento y reproducción en laboratorio y se han descrito las primeras fases de desarrollo larvario y diversos aspectos de su biología y fisiología. Su producción en cautiverio es viable. Los estudios nutricionales de *Isostichopus* sp nov permiten aseverar que esta nueva especie puede competir en los mercados internacionales por su calidad nutricional. Su fertilización in vitro será la siguiente meta.*

Introducción

Los pepinos de mar son equinodermos, es decir, animales marinos caracterizados por tener un cuerpo con cinco regiones alrededor de un disco central, los cuales están relacionados con las estrellas o los erizos de mar (Figura 1). Son animales de cuerpo alargado que viven en los mares de todo el mundo, en la superficie del agua, sobre la arena, los fondos rocosos o coralinos y en fondos abisales (de entre 4.000 y 6.000 metros de profundidad). En el mundo se han registrado más de 1.700 especies, muchas de las cuales habitan los mares del continente asiático, siendo la segunda clase más diversas de los equinodermos. En Colombia existen reportes de al menos 44 especies hasta el momento, distribuidas en aguas someras y profundas^[1]. Sin embargo, estos animales han sido pobremente estudiados en el mundo y en Colombia existen numerosos vacíos en su conocimiento.

De igual manera otros organismos aprovechan estos componentes, como el carbonato de calcio que se libera en las aguas del mar para contribuir con la

Estos animales son apreciados por dos aspectos a destacar, su valor ecológico y su valor económico: son importantes en el ecosistema pues reciclan los nutrientes, consumen el *detritus*, microorganismos y otra materia orgánica que digieren y disuelven, que al eliminarlas en las heces son usadas por las bacterias del agua que pueden continuar el proceso de degradación.

formación de los corales en el ecosistema marino. Se ha demostrado que las heces fecales de los pepinos de mar reducen la acidificación de los océanos, ocasionada por la contaminación antropogénica. Además, los pepinos son claves en el ciclo de nutrientes, donde contribuyen a la producción primaria

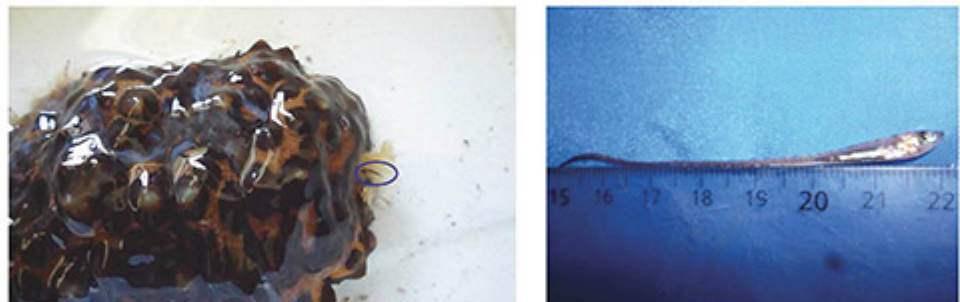
FIGURA 1:

IZQUIERDA: PEPINO DE MAR.
DERECHA: ERIZO DE MAR



FIGURA 2:

IZQUIERDA: CARAPUS Y
PEPINO DE MAR. DERECHA:
CARAPUS BERMUDENSIS.



(a la síntesis de compuestos orgánicos mediante el proceso de fotosíntesis). También actúan como hospederos para peces y cangrejos, tal como lo hemos comprobado en nuestro laboratorio al detectar la presencia del pez *Carapus bermudensis* como hospedero dentro del intestino de los pepinos estudiados, como el llamado *Isostichopus badionotus* (Figura 2) (2,3,4,5,6,7).

Sobre su importancia económica, existen factores gastronómicos, medicinales y afrodisíacos que acompañan esta valoración. Aunque en Colombia no se consume, en muchos países asiáticos y europeos, como China, Taiwán, España o Portugal, es un manjar muy apreciado y muy costoso. Por este motivo las flotas pesqueras orientales explotaron su propio recurso hasta el punto en que, en este momento, muchas de las especies asiáticas se encuentran catalogadas como vulnerables o en peligro de extinción. Debido a esto los asiáticos han ido explorando diversas pesquerías en África, Nueva Zelanda, América del Norte y América del Sur en busca de la captura y comercialización de nuevas especies de pepinos de mar.

Diez años atrás, las flotas pesqueras asiáticas exploraron y comercializaron nuestros pepinos de mar nativos mediante un permiso de pesca exploratoria. La extracción fue la única forma de obtención de este recurso por parte de los pescadores artesanales que abastecieron a los grandes exportadores.

Cuando las autoridades ambientales nacionales percibieron la magnitud de la explotación, prohibieron las capturas y, en la actualidad, su pesca está prohibida así como su comercialización (8,9).

Como alimento, en Asia se consume desde tiempos milenarios y es un producto *gourmet* que se ofrece en fiestas y reuniones, habiendo sido catalogado como el *ginseng* del mar. Se consume en restaurantes chinos localizados en todo el mundo. Su presentación es en sopas, entero en ensaladas, en polvo o en guisos secos o ahumados. En España se consume abundantemente en Cataluña, donde es llamado “*espardenya*”.

Su valor puede oscilar entre uno y 300 dólares el kilogramo de una preparación seca de pepino de mar llamada *bche de mer*, *trepang*, *balate* o *hai-som*, dependiendo del lugar donde se comercialice (10). Su valor está ligado a la especie y a las características finales de su procesamiento, siendo la más valiosa la originaria de Asia: *Apostichopus japonicus*, la cual puede alcanzar un precio de más de 300 dólares por kilogramo seco (11). Algunas especies tropicales, particularmente *Holothuria scabra* y *Holothuria lessona*, pueden lograr precios similares por individuos de gran tamaño (12). Cuando las flotas extranjeras comercializaron nuestras especies, a los pescadores artesanales que las capturaban les pagaban 1.000 o 2.000 mil pesos por kilogramo de producto. En la actualidad no se sabe cuánto puede costar un kilogramo de pepino de mar procesado en Colombia, y sólo existe un estudio sobre la composición nutricional de un *Isostichopus* sp. nov., nueva especie registrada, nativa del Caribe colombiano (13).

También creen que ayuda a retrasar el envejecimiento y que tiene propiedades antitumorales, anticancerígenas y alivia la artritis. Numerosos estudios científicos se han realizado encaminados a investigar estas creencias, y se han confirmado las propiedades terapéuticas y medicinales debido a la presencia de una gran cantidad de productos bioactivos como el colágeno, las saponinas o el condroitin sulfato y ácidos grasos, entre otros, así como un excelente perfil vitamínico y mineral (14). También se tiene la creencia de que su consumo aumenta la *libido*, siendo esta otra de las principales razones para su explotación comercial al promocionarse como afrodisíaco.

La acuicultura es una actividad similar a la agricultura, de la que obtenemos productos de origen acuático como peces, crustáceos y algas, que sirven diversos propósitos como alimento, medicinas, planes de conservación para salvar a las especies en peligro de extinción, entre otros. Debido a la sobre explotación de los pepinos de mar en algunos países, la acuicultura ha surgido como una opción para reducir la extracción, producir alimento y conservar las especies. Como resultado de la amplia importancia del pepino de mar a nivel mundial en cuanto a su comercialización como alimento con un excelente contenido nutricional, el Grupo de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Acuicultura ha promovido investigaciones que posibiliten su cultivo y producción en condiciones controladas. En la actualidad, en el Laboratorio de Acuicultura de la Universidad del Magdalena, se están llevando a cabo avances en el conocimiento básico y aplicado de dos especies de pepino de mar (*Isostichopus badionotus*, *Isostichopus* sp. nov.), presentes en el Caribe colombiano (Figura 3).

Durante los años 2012 y 2013, y entre 2014 y comienzos de 2016, fueron cofinanciados grandes proyectos por la Vicerrectoría de Investigación de la Universidad del Magdalena, Colciencias (Aspectos preliminares de la tecnología del cultivo del pepino de mar (*Holothuria (Cystipus) occidentalis*) en la Bahía de Santa Marta) y la Gobernación del Magdalena a través del Sistema General de Regalías (Producción de semilla y procesamiento: Desarrollo de un protocolo para la producción de pepino de mar *Isosticho-*

Por otra parte, la medicina tradicional china incluye al pepino de mar como un *ginseng*. Es una planta con raíces carnosas, conocida por sus propiedades medicinales que mejoran la salud humana y, debido a esto, los orientales han catalogado a los pepinos como los *ginseng* del mar que “alimenta la sangre y los riñones”, evita enfermedades renales y reproductivas, mejora la memoria y aumenta la inmunidad.

FIGURA 3:
PEPINOS DE MAR
EN TANQUES DE CULTIVO.



pus badionotus, integrado al Programa Acuicultura Sostenible para el Departamento del Magdalena). Estos proyectos tuvieron como fin potenciar el cultivo de la especie e iniciar estudios encaminados a la tecnología de su procesamiento. Hasta la fecha se han obtenido importantes resultados relacionados con la captura, transporte, alimentación, manejo en cautiverio, reproducción, desarrollo larval, composición nutricional, estudio de la piel y músculo del animal, seco-salado (principal producto comercializable), impacto frente al cambio climático y patologías de estos organismos marinos (7, 9,15,16,17).

Comprobamos que los animales son capaces de soportar periodos de transporte de hasta dos horas sin agua de mar, y que los porcentajes de evisceración (expulsión de sus órganos internos por estrés) y mortalidad disminuyen significativamente cuando se realizan en un ambiente húmedo o seco. Mediante estudios de preferencia térmica y temperaturas letales superior e inferior, confirmamos que el incremento de la temperatura afecta su supervivencia y bienestar.

Nuestro grupo GIDTA ha obtenido por primera vez en el país, desde 2012 y consecutivamente hasta la fecha, desoves espontáneos de dos especies, generando un insumo importante para la reproducción controlada a futuro. Además, se ha demostrado que estos animales son influenciados durante su reproducción por las fases lunares. Durante las investigaciones se ha descrito por primera vez el desarrollo embrionario de pepinos de mar de *Isostichopus sp nov.* hasta el estado de larva, llamada doliolaria, y así mismo hemos comprobado que los periodos larvarios exigen bajas densidades de siembra, suministro de microalgas de alto contenido nutricional, y que el uso de alta calidad de agua es esencial para el funcionamiento del cultivo (Figura 4).

Los pepinos de mar adultos que se llevan al laboratorio de Acuicultura de nuestra universidad se alimentan de *detritus* mezclados con arena y microalgas (*Chlorella*, *Tetraselmis* o *Spirulina*, entre otras) (Figura 5). Mientras tanto, las larvas que producimos al interior del laboratorio deben ser alimentadas con microalgas producidas por nosotros, tales como *Isochrysis sp.*, *Tetraselmis sp.*, *Thalassiosira sp.*, *Nannochloropsis sp.* y *Chaetoceros sp.*, las cuales tienen un adecuado tamaño y perfil nutricional (Figura 5).

Estudios sobre el contenido nutricional de las especies nativas muestran que los pepinos tienen porcentajes altos de proteínas y bajos de lípidos, y que sus valores son similares a aquellos de especies asiáticas ampliamente comercializadas en el ámbito mundial (13). Por tal razón, a largo plazo se espera transferir la tecnología de cultivo y procesamiento a comunidades costeras dedicadas a las pesquerías que puedan dedicar parte de su tiempo al cuidado de los pepinos, pues no tienen que hacer grandes inversiones en infraestructura ni alimento. A su vez, se espera establecer un puente de comunicación con las entidades reguladoras para iniciar programas de manejo y conservación de estas especies para su cuidado y protección.

De otro lado, el conjunto de estudios realizados tuvo como valor agregado el hallazgo de una especie antes no registrada para la zona, la cual fue confusamente incluida como *Isostichopus badionotus*.



FIGURA 4:
LARVA AURICULARIA



FIGURA 5:
CULTIVO DE MICROALGA

Estudios morfológicos realizados en nuestro laboratorio, en conjunto con análisis de biología molecular llevados a cabo por la Dra. Lyda Castro, líder del Grupo de Investigación Evolución, Sistemática y Ecología Molecular de la Universidad del Magdalena, confirman que existen dos diferentes linajes genéticos y que *Isostichopus* sp. nov es una especie diferente (Figura 6).

Los objetivos del Grupo GIDTA son continuar los estudios de reproducción y cerrar el ciclo del cultivo de la especie, contemplando todas las fases de vida, desde embriones, larvas, juveniles, hasta adultos de pepino de mar. Para ello se empezarán ensayos de reproducción *in vitro* y se continuará con la estandarización de la reproducción natural en laboratorio. Se iniciarán pruebas con dietas en larvas para lograr mayores indicadores de sobrevivencia.

Como conclusiones sobre nuestros hallazgos, los pepinos de mar nativos tienen su mayor potencial para reproducirse en el segundo semestre del año y esta capacidad se ve influenciada por la luna. La producción de larvas es viable siempre y cuando exista una alta calidad de agua y se controlen patógenos. La producción de pepino seco-salado ó *bche de mer* tiene un rendimiento de alrededor del 10% y es una fuente alternativa de proteínas para los potenciales consumidores.

FIGURA 6:
PEPINO DE MAR *ISOSTICHOPUS* SP. NOV.



REFERENCIAS

1. Borrero-Pérez GH, Benavides-Serrato M, Diaz-Sanchez CM Equinodermos del Caribe colombiano II: Echinoidea y Holothuroidea. Serie de Publicaciones Especiales de Invemar. 30: 1-250 (2012).
2. Bakus JG. The biology and ecology of tropical holothurians. In: OA Jones and R Edeans (eds.) Biology and Geology of Coral Reefs Vol. II, Academic Press, New York, USA: 326-367 (1973).
3. Massin C. Food and feeding mechanisms: Holothuroidea. In: Jangoux, M. & Lawrence. J.M (Ed.), Echinoderm nutrition; 43-55 (1982).
4. Uthicke S. Nutrient regeneration by abundant coral reef holothurians. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 2001; 265: 153-170.
5. Richmond R, Martínez PC. Sea cucumber fisheries in the Galápagos Islands: Biological aspects, impacts and concerns. World Conservation Union (IUCN) Technical Report: 18 (1993).
6. Bruckner AW. (Editor). Proceedings of the CITES workshop on the conservation of sea cucumbers in the families Holothuriidae and Stichopodidae. NOAA Technical Memorandum NMFSOPR 34, Silver Spring, MD 244 (2006).

7. Vergara W, Agudelo V, Rodríguez A. Observations of *Carapus bermudensis* (Carapidae) in *Isostichopus badionotus* (Stichopodidae) from Taganga Bay, Colombia. SPC Beche-de-mer Information Bulletin 2016; 36: 090-91.
8. Toral-Granda V. Population status, fisheries and trade of sea cucumbers in Latin America and the Caribbean. Sea cucumbers. A global review of fisheries and trade. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, 2008; 516: 213-229.
9. Rodríguez Forero A, Agudelo Martínez VY, Vergara Hernández WO. First insight into Colombian Caribbean sea cucumbers and sea cucumber fishery. SPC Beche-de-mer Information Bulletin. 2013; (33): 9-13.
10. Subasinghe S. Shark fin, sea cucumber and jellyfish. A Processor's Guide. Infofish Technical Handbook 6: 11-22. (1992).
11. FAO. Manejo de las pesquerías de pepino de mar con un enfoque ecosistémico. FAO Documento Técnico de Pesca y Acuicultura, Roma, Italia. 520: 11-19. (2010).
12. Massin C, Uthicke S, Purcell SW, Rowe FW, Samyn Y. Taxonomy of the heavily exploited Indo-Pacific sandfish complex (Echinodermata: Holothuriidae). Zoological Journal of the Linnean Society. 2009; 155 (1): 40-59.
13. Vergara W, Rodríguez A. Nutritional composition of sea cucumber *Isostichopus* sp. Natural Resources, 2016; (7): 130-137. Published Online March 2016 in SciRes. <http://www.scirp.org/journal/nr>
14. Bordbar S, Anwar F, Saari, N. High-value components and bioactives from sea cucumbers for functional foods - A review. Marine Drugs. 2011; 9(10): 1761-1805.
15. Luna-Fontalvo J, Rodríguez-Forero A, J, Sarmiento-Rodríguez. Microbiota aislada del pepino de mar (*Isostichopus badionotus*) nativo de la bahía de Taganga, Caribe Colombiano. Rev. Intróptica. 2014; (9): 75-83. ISSN 1794-161X.
16. Agudelo Martínez VY, Rodríguez Forero A. Advances on spontaneous captive breeding and culture conditions of Caribbean Sea cucumber *Stichopus* sp. SPC Beche-de-mer Information Bulletin. 2015; (35): 50-57.
17. Vergara W, Rodríguez A. Histología del tubo digestivo de tres especies de pepino de mar *Isostichopus badionotus*, *Isostichopus* sp. y *Stichopus hermanni* (Aspidochirotida: Stichopodidae). Rev. Biol. Trop. / Intern. J. Trop. Biol. Conserv. 2015; 63 (4): 1021-1033.



HOLOGRAMAS COLOMBIANOS, LOS MEJORES DEL MUNDO. UNA HISTORIA DE VIDA, INNOVACIÓN Y TRABAJO

MARÍA ÁNGELA CORTÉS

PERIODISTA ACAC

maria.cortes@acac.org.co



RICARDO AMÉZQUITA OROZCO

Bogotano de nacimiento, realizó sus estudios de pregrado en la Universidad Nacional de Colombia, donde obtuvo su título en Física. Más tarde realizó una maestría trabajando en temas relacionados con la holografía. Desde su experiencia en este arte nació la idea de crear una empresa. Al terminar se vinculó como docente del Departamento de Física en la misma universidad, en donde ha tenido a su cargo cursos relacionados con la óptica, la electrónica, el procesamiento digital de imágenes, la programación y los métodos numéricos. Terminó sus estudios de doctorado trabajando en el desarrollo de un sistema para realizar microlitografía óptica. Desde 1998 se desempeña como Director de Investigación y Desarrollo de la empresa Combustión Ingenieros SAS, donde coordina el desarrollo de nuevas técnicas holográficas así como el diseño y la fabricación de equipos para la producción de estos elementos.

Una de las satisfacciones más importantes para un colombiano es que un compatriota triunfe con su trabajo en el exterior. Sea músico, deportista, político, empresario, nos enorgullecemos porque la mayoría de la gente reconoce que ser un ejemplo de desarrollo dentro y fuera del país no es fácil y puede tardar en conseguirse, más si hay competencia en el mercado. Pero hay muchos casos, como el que se presenta en esta entrevista, que no conocemos porque tal vez no aparecen con frecuencia en los medios de comunicación, por no ser un tema de espectáculo, de fútbol o porque, simple y tristemente, no se le dan los espacios pertinentes para darse a conocer pues no son consideradas como historias de admiración.

Es el caso de Combustión Ingenieros SAS, una empresa colombiana que realiza hologramas y trabaja con máquinas creadas por Ricardo Amézquita, su familia y colaboradores, quienes han elaborado por dos años consecutivos (2014 y 2015) los mejores hologramas del mundo según la Asociación Internacional de Productores de Hologramas (IHMA, por sus siglas en inglés). ¿No sabía que Colombia tiene el primer lugar en la creación de estos dibujos por encima de los americanos, los europeos o, inclusive, los asiáticos? Sí, son colombianos y todo lo que hacen es 100% colombiano.



Como ustedes, sentí curiosidad por saber cuáles eran los mejores hologramas del mundo, verlos, detallarlos, deleitarme al tenerlos en mis manos y enorgullecerme. Por eso me dirigí al barrio Modelia, en la ciudad de Bogotá, y me encontré con el hombre que había iniciado todo y al que entrevisté para esta edición. Ricardo Amézquita estaba rodeado por otros genios como él, quienes construyeron esta empresa. Al conocerlo me di cuenta de que mi encuentro con los hologramas debía esperar porque había una historia detrás de estos dibujos, una más importante por contar, para luego entender perfectamente el significado que tiene para él y su familia un holograma.

ACAC: ¿SIEMPRE FUE UNA EMPRESA FAMILIAR?

RAO: La empresa originalmente fue fundada por mi padre, a quien le ayudaba en lo que podía. Desde que iniciamos el trabajo en holografía se tornó en una empresa familiar en la que trabajábamos él, mi esposa, mi hijo mayor, esporádicamente mi madre y yo. El trabajo de mi padre, Ricardo Alberto Amézquita Andrade, como el de todos, fue fundamental puesto que se encargaba de la parte mecánica; mi esposa, de la comercial; mi hijo, quien creció en esta fábrica y también es físico, era el encargado del desarrollo de Software; y yo, que tenía a cargo la parte óptica y electrónica. Con nosotros laboraba un grupo de colaboradores quienes conocen cómo es el trabajo interdisciplinario, así que todos manejan un poco de cada área. Nos entendíamos bien, cada uno sabía cuál era su tarea y si surgía algún problema laboral, no interfería en lo personal ni en nuestro círculo como amigos. Ese manejo lo aprendí de mi padre, puesto que yo crecí en sus talleres de proyectos industriales y vi cómo trabajaba en compañías de renombre y creando su propio negocio para vender servicios de ingeniería.

ACAC: ¿QUÉ ES LA HOLOGRAFÍA?

RAO: Es una técnica fotográfica con la que se pueden crear imágenes tridimensionales (u otros tipos de efectos visuales, como animaciones, cambios de color, etc.), en la cual se utilizan medios analógicos o digitales para fabricar un elemento óptico difractivo que transforma los rayos de luz que vienen de una fuente de iluminación en otro conjunto de rayos que imitan a los que vendrían de un objeto dado. Al llegar este conjunto de rayos a los ojos de un observador, la sensación visual será prácticamente equivalente a la producida por el objeto real (Figura 1).

Debido a las dificultades tecnológicas presentes en su fabricación, los hologramas se usan para fortalecer los sistemas de seguridad contra falsificaciones, como lo vemos en billetes, documentos de identidad, pasaportes, licencias de conducción, en aplicaciones de seguridad, etiquetas, entre otros.

ACAC: ¿FUE SU PADRE QUIEN LE ACONSEJÓ INICIAR UNA EMPRESA DE HOLOGRAMAS?

RAO: La empresa surgió en 1998 durante un almuerzo donde conversábamos respecto a la posibilidad de producir este tipo de productos. Para ese entonces yo estaba terminando mi maestría, trabajando además en el Centro Internacional de Física (CIF), donde se estaba llevando a cabo el proyecto de crear un instituto de óptica aplicada, y compartiendo espacios académicos con personas como el ucraniano Vladimir Markov, quien fue el director de mi trabajo de maestría, y el ruso Yuri Denisjuk, quienes eventualmente venían a Colombia.

Durante mi trabajo en el CIF aprendí algo de holografía y óptica con el que convencí a mi papá de usar su empresa, que andaba en una mala situación económica, para desarrollar allí hologramas. Lo siguiente fue conseguir las máquinas, las cuales se caracterizaban por la dificultad de obtener productores de estos equipos, y los pocos que había cobraban millones de dólares. Por no tener el dinero para comprar e importar los equipos, nacionalizarlos y pagarle a un técnico extranjero para que los hiciera funcionar, nos vimos en la necesidad de fabricarlos en la medida de lo posible.



FIGURA 1:
HOLOGRAMA "JAGUAR" CON
MÚLTIPLES RESOLUCIONES.
ÉL FONDO TIENE UNA COMBI-
NACIÓN CARACTERÍSTICA DE
COLORES, BRILLOS DINÁMI-
COS EN SU CARA, MIENTRAS
QUE SUS OJOS Y BIGOTES
SON NO DIFRACTIVOS.

Fue un gran riesgo, pero lo asumimos. Durante aproximadamente dos años nos dedicamos a desarrollar los equipos necesarios para producir las etiquetas holográficas y ponerlos a punto. En esta etapa no producíamos nada, pues estábamos desarrollando todo y como el presupuesto era bastante limitado, trabajábamos con las uñas. Llegó un momento en que los pocos recursos que teníamos se acabaron y mi mamá se vio obligada a pedir préstamos en la Cooperativa de Profesores de la Universidad Nacional (ella era docente allá). La única entrada fija que teníamos era su sueldo y así nos mantuvo a todos, a mi papá, a mi esposa, a mi hijo y a mí; es decir, a ella le tocó ser la patrocinadora oficial del proyecto. Durante esta etapa diseñamos e implementamos un montaje óptico para producir matrices holográficas en vidrio, un equipo de electroformado para transformar estas matrices en herramientas de estampado en níquel, una máquina para estampar hologramas sobre película plástica y otra para adhesivar y troquelar etiquetas holográficas autoadhesivas (Figura 2).

Algunos elementos como el láser, elementos ópticos, aquello que no podíamos hacer porque se nos salía de las manos o no conocíamos, se importaron. Al mismo tiempo, mientras desarrollábamos nuestra propia tecnología, mi esposa Ana María se encargó de hacer un análisis del mercado con el fin de identificar nuevos clientes, cosa que era fundamental pues ningún proyecto industrial es exitoso si no se logra comercializar el producto. Gracias entonces a la ayuda de mi madre, nuestras propias máquinas y los contactos comerciales de mi esposa, para el año 2000 ya teníamos qué mostrar, empezamos a tener nuestros propios clientes y comenzamos a distribuir las etiquetas holográficas.

“La filosofía de mi papá fue clave para progresar: no se puede competir con negocios de bajo perfil ni hacer lo mismo que los demás porque vas a tener que vivir con el mismo ideal de los dueños de estos negocios. Hay que hacer diferencia y la diferencia fundamental está dada por el conocimiento.”

FIGURA 2:
TALLER DE CONSTRUCCIÓN DE
MÁQUINAS DE HOLOGRAMAS



ACAC: DURANTE NUESTRA CONVERSACIÓN USTED HA DICHO QUE SIEMPRE HA TENIDO EN CUENTA QUE, PARA SER INNOVADOR, SE REQUIERE BUSCAR UN MERCADO DESCONOCIDO. ¿COLOMBIA NO SABÍA MUCHO DE HOLOGRAFÍA EN ESOS AÑOS?

RAO: Realmente no es buscar un mercado desconocido, es más buscar un mercado con poca competencia donde se sea competitivo. Cuando iniciamos nuestro proyecto de holografía, los únicos que hacíamos hologramas en el país éramos nosotros y una empresa llamada HOLOCOL (la cual ya no opera comercialmente), así que ellos eran nuestra competencia directa, pero realmente en Colombia nadie sabía ni qué era un holograma ni para qué servía.

Ellos iniciaron el mercado pero nosotros llegamos un poco después mostrando el mismo producto en una presentación diferente. HOLOCOL vendía en hojas y nosotros en rollos que pensamos que podrían ser utilizados para aplicaciones en automático. Cuando ya se comenzó a comercializar más en el país, varias empresas empezaron a importar hologramas, lo que complicó el negocio y nos exigió mucho más, teníamos que mejorar la calidad. Fue ahí cuando nos dimos cuenta de que el éxito en la producción de hologramas estaba en la *matriz holográfica*, porque es lo que hace la diferencia, es lo que da la marca, el sello único y propio. De ahí en adelante el proceso de producción de las etiquetas holográficas es igual en todas partes. Por esto nos enfocamos en mejorar nuestra tecnología de creación de las matrices holográficas, desarrollando tecnología propia y distinta a las demás.

ACAC: USTED NOS COMENTA QUE A LO LARGO DE SU VIDA LABORAL SE HA GANADO VARIOS PREMIOS POR SUS HOLOGRAMAS. ¿CUÁLES SON?

RAO: En la feria de la **Asociación Internacional de Productores de Hologramas (IHMA)** hay un concurso en distintas categorías. En 2014 nos ganamos dos premios con el mismo holograma, el premio a lo mejor del año y el de mejor "originación" de hologramas, y en el 2015 volvimos y ganamos nuevamente el premio a mejor "originación" con un holograma y una mención de honor con otro (Figuras 3 y 5). Se podría decir que hemos sido la piedra en el zapato para las empresas grandes que hacen también estos productos, porque la mayoría de ellos trabajan con 300 o 400 empleados; nosotros somos alrededor de 20 personas. Eso ha impactado mucho en las ferias a las que hemos asistido, que unos colombianos con una empresa pequeña tengan tan buenos productos.

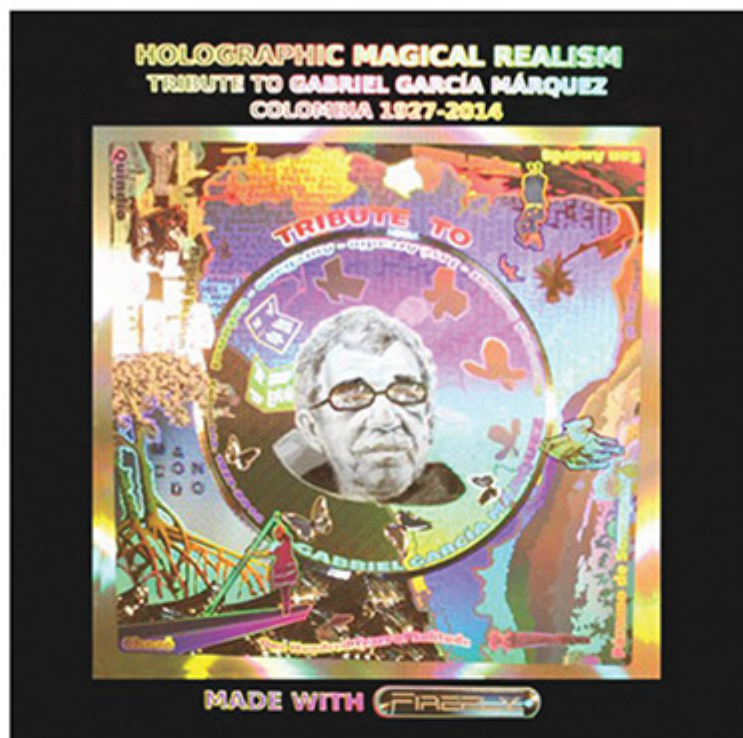


FIGURA 3:
HOLOGRAMA QUE OBTUVO EL
PREMIO A MEJOR ORIGINA-
CIÓN DEL AÑO 2015 POR LA
ASOCIACIÓN INTERNACIONAL
DE PRODUCTORES DE HOLO-
GRAMAS (IHMA)

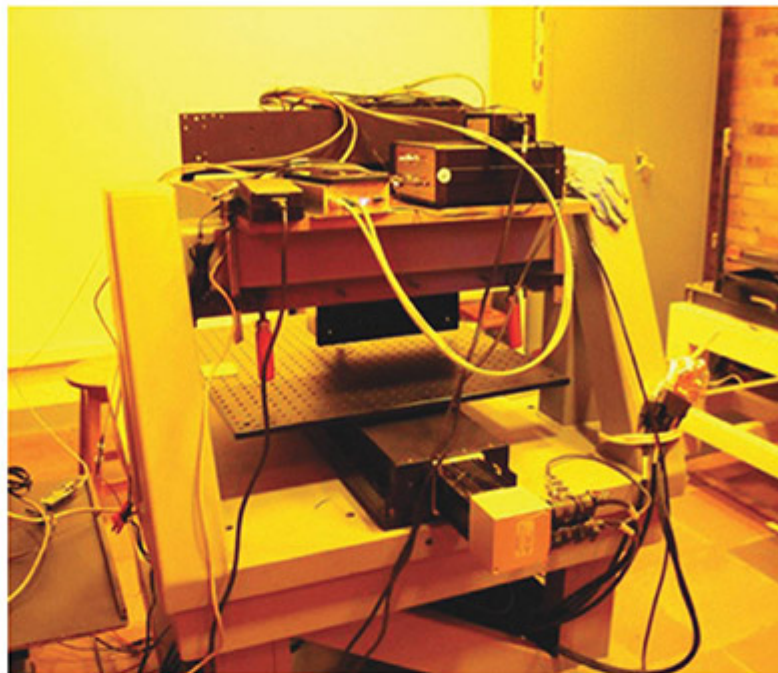
ACAC: ENTRAR AL MERCADO ASIÁTICO ES UNO DE LOS GRANDES SUEÑOS DE TODO COMERCIANTE. ¿CÓMO LO CONSIGUIÓ?

RAO: Participando en las ferias de la IHMA, ganando los premios que allí se otorgan y con un poco de suerte. Después de la segunda feria, un conocido inglés llamado Glenn Woods, que trabaja hace mucho tiempo en el área de la holografía comercial y a quien habíamos conocido en esta feria, se puso en contacto con nosotros y nos pidió el favor que, como miembros de la IHMA, nomináramos a un amigo suyo para una posición en la Junta Directiva de la asociación. Durante nuestra conversación yo le conté sobre nuestro desarrollo y él se mostró interesado en conocer las máquinas con las que trabajábamos, las cuales eran producidas también por nosotros. Estaba buscando algo muy similar, así que vino a Colombia a observar cómo realizábamos nuestro trabajo. Meses más tarde regresó con dos empresarios chinos a quienes les gustó mucho pero nos exigieron algunas cosas que nos tocó mejorar. Sabíamos que vender una máquina de estas en China era algo muy importante, así que nos la jugamos toda y al finales del 2013 viajamos al país asiático a presentar una mejor versión y, sin dudar, firmaron el contrato. ¡Se vendió! Para este momento ya hemos enviado dos máquinas a China, una a Indonesia y hay otra que estamos desarrollando para una empresa estadounidense que la llevará a la India (Figura 4).

ACAC: A VECES SUENA IRÓNICO PENSAR QUE LA TECNOLOGÍA COLOMBIANA SE VENDE EN CHINA, UN PAÍS QUE TIENE UN DESARROLLO TECNOLÓGICO INMENSO. ¿ÉSTE SERÍA UN EJEMPLO DE QUE NADA ES IMPOSIBLE?

RAO: Nosotros no competimos con los chinos, les vendemos algo que no producen y están dispuestos a comprar. Sabemos lo que hacemos y estamos convencidos del excelente producto que ofrecemos. Siempre hemos estado dispuestos a innovar, sabemos de qué somos capaces y que hay que arriesgarse para lograrlo. Pero en esto también es importante el *conocimiento*, por eso siempre nos preguntamos qué necesitamos, qué podemos hacer, qué hay que comprar (si hay una dificultad para hacerlo con

FIGURA 4:
MÁQUINA PARA HACER HOLOGRAMAS, FABRICADA POR
CI HOLOGRAMAS, EN PRO-
CESO DE FINALIZACIÓN PARA
SER ENVIADA A LA INDIA



nuestras manos), también analizamos nuestras incapacidades y nunca damos falsas expectativas a un cliente. Tenemos que saber, conocer la tecnología para hacer buenos hologramas, en parte, para proteger la empresa y también por Colombia, porque en este país tiene que haber desarrollo tecnológico.

No podemos seguir pensando que somos un país agrícola porque hay muchos campesinos, cuando sabemos que, por ejemplo, Francia es igual pero con tecnología agrícola que permite que el campesino francés pueda vivir de una forma muy distinta a la nuestra. Si no desarrollamos tecnología propia no vamos a salir adelante.

ACAC: ENTONCES, PARA USTED, ¿QUÉ ES LO QUE PASA EN COLOMBIA? ¿POR QUÉ VEMOS MUY POCO DESARROLLO EN INNOVACIÓN?

RAO: En el país hay un problema cultural muy grande desde hace mucho tiempo y es que queremos ganar dinero rápidamente y así no se puede. Para hacer cosas brillantes hay que trabajar. Crecimos pensando que lo más importante era ser comerciantes y prestadores de servicios, confundiendo a los emprendedores con los innovadores, pero la verdad es que si no hay *conocimiento* no se puede generar un valor agregado. Son muchos los que creen que la innovación es abrir un nuevo local de empanadas cuando hay miles de locales que ofrecen lo mismo. Toda innovación debe estar sustentada por un trabajo científico y apoyada por personas arriesgadas, seguras de sí mismas y de sus productos.

“La visión que se le da a la innovación en Colombia es equivocada”

Muchos dicen que no hay apoyo estatal, pero sí lo hay, lo que pasa es que no es suficiente. También hay que dejar de ver un proyecto científico o tecnológico como una inversión a corto plazo. No se puede pensar que todo es dinero. Nosotros en éste proyecto nunca vimos como prioridad el dinero, muchas veces nos arriesgábamos sin saber si íbamos a perder o ganar, era simplemente hacer las cosas con pasión y con el gusto de saber que se estaba desarrollando, innovando. Si nos arriesgáramos un poco más en Colombia, las cosas serían diferentes. Además, nosotros trabajamos en equipo y eso es muy importante; en este país no se sabe trabajar interdisciplinariamente, no se reconoce el trabajo del otro, pero la verdad es que todas las personas que trabajan

para un proyecto son importantes. Es triste ver empresas extranjeras que vienen al país a usar nuestra materia prima y nosotros no somos capaces de tener desarrollos para hacer lo mismo. En conclusión no es solo con el dinero que se pueden hacer cosas, hay que estudiar, tener conocimiento, trabajar, tener paciencia y creer que uno es capaz para arriesgarse a hacer cosas nuevas.

ACAC: FINALMENTE, ¿CUÁL HA SIDO EL ÉXITO DE COMBUSTIÓN INGENIEROS SAS (CI HOLOGRAMAS)? ¿EN QUÉ SE DIFERENCIAN DEL RESTO DE EMPRESAS QUE TIENEN EL MISMO PRODUCTO?

RAO: Yo creo que Combustión Ingenieros ha logrado ser exitosa por diferentes factores. Por un lado, hemos tratado de mantener un negocio basado en el conocimiento, en el cual el desarrollo tecnológico y científico es la base a la hora de generar nuevos productos o unidades de negocio. También entendemos la importancia estratégica del trabajo interdisciplinario, pues para que una empresa sea exitosa no es suficiente con tener conocimiento y tecnología. Si los productos o servicios no se logran vender, si la empresa se administra mal, si los procesos de producción y logística no son eficientes y la atención y el servicio al cliente no son adecuados, la empresa no va a crecer ni a perdurar en el tiempo. Adicionalmente siempre estamos buscando cosas nuevas para hacer y formas distintas de hacerlas.

Combustión Ingenieros inició en los años 80 como una empresa de ingeniería, luego pasó a una de metalmecánica, más adelante a una de producción de etiquetas holográficas y hoy está entrando en el mercado de suministro de tecnología para productores de hologramas. Es decir, estamos reinventándonos todo el tiempo y buscamos ser innovadores en todos los aspectos. Esto lo aplicamos a todo. Por ejemplo, cuando decidimos participar en los concursos internacionales de holografía, nos evaluamos y vimos que aunque teníamos una gran fortaleza tecnológica, podíamos innovar involucrando un componente artístico y cultural en nuestros diseños, puesto que la competencia siempre se había centrado en presentar hologramas con motivos comerciales. Otra meta que nos planteamos fue que nuestros dibujos transmitieran un mensaje positivo de Colombia. Esta estrategia innovadora nos ha permitido ganar durante dos años consecutivos el premio "Excellence in Holography Awards" en la categoría de mejor originación.



FIGURA 5:
HOLOGRAMA QUE GANÓ
MENCIÓN DE HONOR EN EL
2015 POR LA ASOCIACIÓN IN-
TERNACIONAL DE PRODUCTO-
RES DE HOLOGRAMAS (IHMA)



Al final, luego de la entrevista a Ricardo, me dirigí para ver los hologramas premiados. Entendí que desde el hogar y en la primera infancia se inician los grandes líderes y personas que harán la diferencia. El ejemplo que se dé a los hijos o a los nietos es fundamental para hacer personas con capacidades, disciplina y ansias de progreso. De ahí en adelante el *conocimiento* es importante y cómo aplicarlo depende de cada uno. Esta empresa no solo es un modelo de desarrollo e innovación para el país, es también una familia “diez” al creer en lo que hacen; porque finalmente el resultado del trabajo realizado es el reflejo de lo que son, una familia que brilla como sus propios hologramas.



ASOCIACIÓN COLOMBIANA
PARA EL AVANCE DE LA CIENCIA

www.acac.org.co

ACAC es una comunidad de personas, conformada por científicos, profesionales y estudiantes de todas las disciplinas interesadas y comprometidas con la ciencia como instrumento de transformación de Colombia.



Más información en:

www.acac.org.co/acac/asociate/ • asociados@acac.org.co

PBX: +57 (1) 432 0370



23 años continuos de divulgación
CIENTÍFICA A TRAVÉS DE LA REVISTA
Innovación y Ciencia.