

Innovación y Ciencia

Volumen XX • Nº 3 • Tarifa postal reducida 2013 - 194 • Colombia \$ 16.000

> Edición especial

2013: Año Internacional de la
Cooperación en la Esfera del Agua



ASOCIACIÓN COLOMBIANA
PARA EL AVANCE DE LA CIENCIA

REVISTA INNOVACIÓN Y CIENCIA

VOLUMEN XX N° 3- 2013

PUBLICACIÓN DE:

Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia, ACAC

JUNTA DIRECTIVA ACAC

Eduardo Posada Flórez
Marcelo Riveros Rojas
Helena Groot de Restrepo
Elena Evguenievna Stachenko
Rubén Ardila Ardila
Sonia Esperanza Monroy Varela
Horacio Torres Sánchez
Moisés Wasserman Lerner
María Mercedes Zambrano Eder
Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales - ACEFYN
Universidad El Bosque
Instituto Alexander von Humboldt
Centro Interactivo Maloka

PRESIDENTE

Eduardo Posada Flórez

DIRECTORA EJECUTIVA

María Piedad Villaveces Niño

EDITOR

Germán Cubillos Alonso

COORDINACIÓN EDITORIAL

Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia, ACAC

COMITÉ EDITORIAL

Eduardo Posada Flórez
María Piedad Villaveces Niño
Marcelo Riveros Rojas
María Fernanda Gutiérrez
Elizabeth Castañeda
Germán Puerta Restrepo
Eduardo Rueda Barrera
Sergio Torres Arzayús

CONSEJO EDITORIAL INTERNACIONAL

José Antonio López Cerezo
Alejandro Franco García

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN

Alejandro Cassiani Baquero
Andrés Camilo Alvarado

CORRECCIÓN DE ESTILO

María Teresa Ropaín García

FOTOGRAFÍA

Autores y Banco de imágenes

IMPRESIÓN

Nomos Impresores

COMERCIALIZACIÓN

Departamento de Mercadeo de ACAC

INDEXADA

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



CARÁTULA

Agua y vida... una cooperación ancestral.

Composición digital: Andrés Camilo Alvarado
Alejandro Cassiani Baquero

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

DERECHOS RESERVADOS

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

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

Resolución Ministerio de Gobierno No. 5447 del 9 de octubre de 1992
ISSN 0121-5140

Tarifa postal reducida: 2013-194 4-72. La Red Postal de Colombia, vence 31 de diciembre de 2013

ACAC Calle 44 N° 45-67, Unidad Camilo Torres Bloque C, Módulo 3
Teléfonos: 3150734 – 3155900 Fax: 2216950
Sede Académica ACAC Carrera 29 N° 39A-75, Barrio la Soledad
Teléfonos: 2682350 - 2446575
Email: innovacionyciencia@acac.org.co
Bogotá, D.C. – Colombia

Precio de venta al público: \$16.000
Suscripción (4 números al año): \$55.000 para Bogotá,
\$65.000 fuera de Bogotá.



Vistazos ◀ ▶ 8
2013 Año Internacional de la Cooperación en
la Esfera del Agua. Textos y contextos
GERMÁN CUBILLOS ALONSO



Ciencias planetarias ◀ ▶ 14
Agua y vida en el sistema solar
GERMÁN PUERTA RESTREPO



Impactos ambientales
Cuando las inundaciones son
perturbaciones antropogénicas ◀ ▶ 26
LIZETH BARÓN MONTAÑO



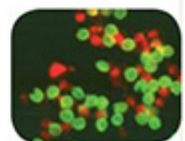
El cambio climático inducido por el hombre
y sus impactos sobre los recursos hídricos
demandan acciones urgentes ◀ ▶ 34
GERMÁN POVEDA



Hidrología ◀ ▶ 46
El agua en época de crisis - Colombia
RODRIGO MARÍN RAMÍREZ



Virología ◀ ▶ 62
Los virus en el agua. Otra
alternativa para evaluar calidad
MARÍA FERNANDA GUTIÉRREZ



Sumario

Innovación y Ciencia Volumen XX N° 3 - 2013

Radio y educación 72

La radio para llevar el agua:
patrimonio histórico de la humanidad

MARÍA FERNANDA SERRANO GUZMÁN

NORMA CRISTINA SOLARTE VANEGAS

LUZ MARINA TORRADO GÓMEZ

DIEGO DARÍO PÉREZ RUIZ



Fotografía 82

Ver para conocer, conocer para preservar

Fotografía Colombia: un cielo por descubrir

LEONARDO DELGADO ARIZA



Ingeniería 90

Resiliencia a inundaciones: lecciones aprendidas en
el Río de Oro, Área Metropolitana de Bucaramanga

DIEGO ALEJANDRO GUZMÁN ARIAS

JUAN CARLOS FORERO SARMIENTO

MARÍA FERNANDA SERRANO GUZMÁN



Geología 102

Manantiales termales, algo más que recurso recreativo:
fuentes de agua y biodiversidad

SANDRA BAENA

CLAUDIA ALFARO VALERO

MARÍA MERCEDES ZAMBRANO



De apropiación a investigación

Bajo el nombre de “apropiación social de la ciencia”, Colombia vivió un cambio en los años 90s, promovido por la Misión de Ciencia, Educación y Desarrollo. Se trataba de romper el mito que veía a los científicos como seres diferentes, y a la propia comunidad científica encerrada en sí misma aislándose de las necesidades reales de la sociedad.

Por fortuna, la propuesta no se limitó a un discurso novedoso. La Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia había empezado a estructurar estrategias para propiciar espacios incluyentes en temas de ciencia. Desde 1989, sin recursos fijos, pero con un plan claro, las directivas de ACAC arrendaron el Centro de Convenciones Gonzalo Jiménez de Quesada y lo llenaron de stands en donde se presentaba lo que los científicos colombianos están haciendo. Esa fue la primera Expociencia que se realizó.

Hoy, más de veinticinco años después, científicos y estudiantes de todos los rincones del país se dan cita para presentar lo que están haciendo en temas de ciencia y tecnología. Bien sea a través de los proyectos que los niños presentan, a través de los stands que exhiben las universidades o a través de los pósters que dejan los centros de investigación le dicen a la sociedad colombiana que la ciencia es para todos y que en Colombia todos los días se está haciendo ciencia.

Se ha consolidado un sitio en el que se hable cada dos años de ciencia, pero aún hay mucho por hacer. La sociedad ha cambiado y las redes sociales son la forma en que los jóvenes se comunican diariamente. El reto ahora es entender de qué manera, además de apropiarse de la ciencia, la sociedad empieza a estructurar sus decisiones en investigaciones científicas, de forma que desde las políticas públicas hasta las decisiones técnicas se tomen con base en el conocimiento que habremos acuñado como sociedad.

Pasar de la “apropiación social de la ciencia” a la “vivencia de la investigación para la toma de decisiones sociales” será el reto del siglo XXI.

Eduardo Posada Flórez

Presidente

María Piedad Villaveces Niño

Directora Ejecutiva



USTED PUEDE SER PARTE
DE LO QUE SOMOS

ASÓCIESE

Ser miembro de la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia, ACAC, le permite participar en actividades científicas, tecnológicas y de capacitación permanente y desarrollo profesional, estar actualizado por medio de publicaciones periódicas y eventos sobre los últimos avances nacionales e internacionales, y en general acceder a los diferentes beneficios que la membresía le confiere.

CATEGORÍAS

1. Titulares

Naturales: \$ 100.000 / Jurídicos: \$ 440.000

2. Adherentes

Naturales: \$ 66.000 / Jurídicos: \$ 290.000

Las instituciones educativas de básica y media, se clasifican en esta categoría y cancelan la suma de \$ 220.000

3. Estudiantes

Con carné vigente \$ 50.000

EL VALOR DE LA AFILIACIÓN ES ANUAL

Beneficios:

Integración con las comunidades científica, tecnológica y académica.

- Participación como experto en actividades académicas organizadas por ACAC, desde su área del conocimiento.
- Presentación ante entidades nacionales e internacionales con las que ACAC tiene vínculos.

Intervención en la formulación de políticas de ciencia y tecnología.

- Expresarse por medio de ACAC, ante las autoridades, para proponer políticas sobre ciencia, tecnología e innovación.
- Informarse sobre incentivos de las entidades gubernamentales para estimular proyectos y el desarrollo académico.

Participación en actividades científicas y tecnológicas.

- Participación en los programas académicos de la Asociación y de aquellas con las cuales ACAC posee alianzas.

Vínculos con otras entidades de carácter científico y tecnológico.

- Vinculación a entidades a las que pertenece ACAC y obtener beneficios que tal membresía confiere.

Asesoría en actividades científicas y juveniles.

- Los tutores científicos ACAC ofrecen a colegios asesoría a niños, niñas y jóvenes a través del Correo de la Ciencia.

Descuentos en bienes y servicios de ACAC.

- Programación Académica
- Publicaciones
- Pauta publicitaria en la Revista *Innovación y Ciencia*, entre otros.

Suscripción gratuita a la Revista Innovación y Ciencia.

- Cuatro números al año.

Boletín Informativo.

- Actualización sobre convocatorias, becas, premios, reconocimientos y demás temas de actualidad en Ciencia, Tecnología e Innovación.

Más información en el Departamento de Atención al Asociado

Carrera 29 No 39A - 75, Barrio la Soledad

Teléfonos: (571) 2682350 - 2446575

Cel. 317 6483813

Correo Electrónico: asociados@acac.org.co / mercadeo@acac.org.co

Página Web: www.acac.org.co

Publique en



Innovación y Ciencia

Especificaciones para la presentación de artículos a la revista

Innovación y Ciencia es una revista de divulgación de la Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia, ACAC, cuyo objetivo es dar a conocer las investigaciones científicas que se desarrollan en Colombia y los avances en ciencia y tecnología de nuestro país y de América Latina. Necesariamente, en un mundo globalizado, se busca también la divulgación de la ciencia que se desarrolla en otras regiones del mundo.

El contenido de la revista depende de la generosidad intelectual de los investigadores y académicos, quienes envían espontáneamente sus artículos. También, permanentemente la revista envía invitación a participar en sus páginas a universidades y centros de investigación. Los artículos, ensayos, reseñas, noticias y fotografías que se publican corresponden a temáticas de ciencias naturales, ciencias sociales y humanas, tecnología, política científica y tecnológica, historia de la ciencia, educación y epistemología. El tercer número de cada año, que circula en septiembre, es un número especial dedicado a un solo tema que se anuncia en el primero, que circula en abril.

POLÍTICA EDITORIAL

Los escritos que llegan a la revista son revisados en primera instancia por el editor, quien, si lo considera necesario, le sugiere al autor cambios o complementos necesarios antes de enviarlos al Comité Editorial. Este es el encargado de realizar la evaluación de los escritos y, según el grado de especialización, lo envía a evaluadores expertos siguiendo las tradiciones internacionales de anonimato e independencia. Las sugerencias de este proceso de evaluación se le envían al escritor quien tendrá plena libertad de acogerlas o no. La versión final será revisada nuevamente y se tomará la decisión de publicar o no el escrito. Cuando la revista toma la decisión de publicar un escrito, éste se somete a una rigurosa corrección de

estilo de acuerdo con las normas del español, particularmente las de la Real Academia de la Lengua. Puesto que las comunidades científicas involucran cierta terminología especializada, muchas veces no reconocida aún en español, después de la corrección de estilo el escrito vuelve al autor para su aprobación general, correcciones puntuales y sugerencias.

Puesto que la revista pretende que cada número refleje el interés de la ACAC por acoger una diversidad intelectual y científica, los artículos no se publican por orden de aceptación sino atendiendo al equilibrio temático.

La comunicación de los autores con la revista se da a través del editor quien expresa la posición de la revista y la opinión del Comité Editorial.

ESPECIFICACIONES

Temas

Ciencias naturales, ciencias sociales y humanas, tecnología, política científica y tecnológica, historia de la ciencia, educación, epistemología.

Escritos

Artículos y ensayos de alrededor de 10 páginas tamaño carta en letra Arial 12, a doble espacio (excluyendo ilustraciones y cuadros). Notas cortas, noticias científicas y reseñas de libros de alrededor de 4 páginas.

Lenguaje

- Claro, ágil y de fácil comprensión para el lector no especializado. Evitar la terminología técnica y sustituirla por su equivalente en el lenguaje cotidiano. Si no es posible, dar una definición sencilla entre paréntesis o entre comas. Por ejemplo: "...en general se registra taquipnea (respiración rápida), cianosis (coloración azulosa de mucosas y partes más claras de piel)..."

- Evitar, hasta donde sea posible, el uso de expresiones y demostraciones matemáticas, así como el uso innecesario de formulaciones químicas.
- Es importante que el título sea atractivo además de significativo.
- Cuando se incluyan siglas o símbolos, la primera mención debe decodificarse; ejemplo: "En medicina humana se ha acuñado la expresión ARDS (del inglés: Adult Respiratory Distress Syndrome)".
- Sólo deben usarse abreviaturas y expresiones matemáticas en casos estrictamente necesarios.
- Las ecuaciones y fórmulas deben generarse desde un archivo de Word.
- Todo cuadro, figura o ilustración debe estar traducida al español.

Envío

Por correo electrónico o en CD, en formato Word. Si se usa otro formato, es necesario el envío también en formato Word.

MATERIAL GRÁFICO

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

- Fotografías en versión digital de alta resolución (300 dpi) en formato tif, jpg o eps.
- Si no es posible el material digital, entonces fotografías originales en papel fotográfico o diapositiva de muy buena resolución.
- Los esquemas gráficos explicativos en formato digital deben estar generados en Corel, In Design, Illustrator u otro programa de lenguaje vectorial.
- Las tablas o recuadros sin demasiadas columnas. (Generados en Word o en los programas vectoriales arriba señalados).
- Los archivos de imagen que necesariamente ilustran el texto deben estar guardados en una carpeta aparte del archivo de texto en Word, aunque deben ir insertos también en este para facilitar su ubicación.
- El material fotográfico no debe ser tomado de libros, revistas o internet sin autorización expresa de los editores y debe indicarse la autoría y la fuente. Del material recibido se seleccionará el de mayor calidad para su publicación.

Referencias

En el texto, las referencias se deben citar con el sistema autor-fecha (apellido del primer autor, inicial del nombre, la fecha de publicación, dos puntos y número de página. (La revista dispone de un documento sobre este tema que se le puede enviar a los autores que lo soliciten: *Citas, notas y bibliografía*). El listado de referencias se debe organizar en orden alfabético, con el siguiente formato:

Cita de artículo de revista científica:

Lee, M. R., Ho, D.D., Gurney, M. E. (1987), "Functional interaction and partial homology between human immunodeficiency virus and neuroleukin", *Science* 237: 1047 – 1051.

Cita de Libro:

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

Resumen

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

IDENTIFICACIÓN DEL AUTOR

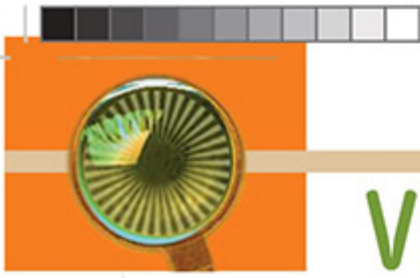
- Nombre
- Títulos
- Cargo Actual
- E-mail
- Dirección postal

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

La revista *Innovación y Ciencia* está indexada en Latindex: Sistema de información en línea para revistas científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal. UNAM, México

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

Fax: 2216950 • 2219953 • Tels: 3155898 • 3150734
innovacionyciencia@acac.org.co
Bogotá, DC, Colombia



Vistazos

2013, Año Internacional de la Cooperación en la Esfera del Agua Textos y contextos

GERMÁN CUBILLOS ALONSO

Editor Innovación y Ciencia
gercubillos@hotmail.com

Introducción

Desde 1959, con el "Año internacional de los refugiados", la Organización de las Naciones Unidas dio inicio a la celebración de algún evento anual relacionado con temas políticos, culturales, de derechos humanos, de paz y seguridad nacional e internacional, de medio ambiente y de cuestiones humanitarias, entre otros, atendiendo a los objetivos centrales de la Organización de buscar la armonía entre las naciones y propiciar la existencia de un mundo mejor.

Estos eventos tienen como objetivo central poner los temas seleccionados en la discusión pública, en el conocimiento ciudadano y en la mirada de los gobiernos, de las instituciones científicas y académicas, de los gremios económicos y de los empresarios, de las organizaciones civiles, para realizar actividades científicas, culturales y prácticas orientadas a eliminar atrasos, desarrollar experiencias exitosas y planear etapas futuras en las áreas seleccionadas.

El 2013 ha sido declarado como el "Año internacional de la Cooperación en la Esfera del agua". Aunque se supone que conocemos suficientemente los aspectos principales ligados al recurso agua, es decir: necesidad vital del suministro de agua potable, los riesgos de su desperdicio, los litros

de agua que cada habitante de las regiones del mundo consume o puede consumir, el incremento en la contaminación de lagos, ríos y mares, y otra amplia lista de informaciones, siempre es necesario volver a mencionarlos y desarrollarlos este año.

El presente artículo hará referencia a los documentos principales de la ONU en lo que respecta a las motivaciones, los objetivos, los datos escuetos y las propuestas internacionales relacionadas con educación sobre el agua, diplomacia del agua, gestión de aguas transfronterizas, financiación, marcos jurídicos nacionales e internacionales y vínculos con los "Objetivos de Desarrollo del Milenio".

Los contextos

En la "Cumbre del Milenio de las Naciones Unidas" (2000), celebrada en la

sede de las Naciones Unidas en Nueva York, los jefes de Estado y de Gobierno del mundo firmaron la *Declaración del Milenio*. En ella asumieron compromisos en materia de paz y seguridad, derechos humanos, protección del entorno y atención especial a la pobreza. Con base en esa Declaración se concertaron los Objetivos de Desarrollo del Milenio, ODM, que sintetizan los objetivos de desarrollo convenidos en las conferencias internacionales y las cumbres mundiales durante toda la década de los años noventa. Incluyen ocho objetivos, dieciocho metas y más de cuarenta indicadores que deben hacerse realidad para el 2015 (ver recuadro). Tal como en su momento lo planteó el *Informe mundial sobre desarrollo humano 2003*, "los Objetivos de Desarrollo del Milenio constituyen un pacto entre las naciones para eliminar la pobreza humana".



Los Objetivos de Desarrollo del Milenio, ODM, constituyen la principal agenda global del desarrollo al proponerse reducir, para el 2015, por lo menos a la mitad la pobreza, sus causas y manifestaciones.

OBJETIVO 1:
ERRADICAR LA POBREZA EXTREMA Y EL HAMBRE

OBJETIVO 2:
LOGRAR LA ENSEÑANZA PRIMARIA UNIVERSAL

OBJETIVO 3:
PROMOVER LA IGUALDAD ENTRE LOS SEXOS Y EL EMPODERAMIENTO DE LA MUJER

OBJETIVO 4:
REDUCIR LA MORTALIDAD DE LOS NIÑOS MENORES DE 5 AÑOS

OBJETIVO 5:
MEJORAR LA SALUD MATERNA

OBJETIVO 6:
COMBATIR EL VIH/SIDA, LA MALARIA Y OTRAS ENFERMEDADES

OBJETIVO 7:
GARANTIZAR LA SOSTENIBILIDAD DEL MEDIO AMBIENTE

OBJETIVO 8:
FOMENTAR UNA ALIANZA MUNDIAL PARA EL DESARROLLO

Fuente: Naciones Unidas, 2013a.

El agua potable y sus indicadores

La "Meta C" del "Objetivo 7" propone "...Reducir a la mitad, para 2015, la proporción de personas sin acceso sostenible al agua potable y a servicios básicos de saneamiento". Estos son los indicadores (Naciones Unidas, 2013b):

- El mundo está en camino de cumplir con la meta sobre agua potable, aunque en algunas regiones queda mucho por hacer.

- Se necesitan esfuerzos acelerados y específicos para llevar agua potable a todos los hogares rurales.
- El suministro de agua potable sigue siendo un desafío en muchas partes del mundo.
- Dado que la mitad de la población de las regiones en vías de desarrollo carece de servicios sanitarios, la meta de 2015 parece estar fuera de alcance.
- Las diferencias en lo que respecta a cobertura de instalaciones sanitarias entre zonas urbanas y rurales siguen siendo abismales.
- Las mejoras en los servicios sanitarios no están llegando a los más pobres.

Las resoluciones

Para consolidar los propósitos generales, se han promulgado resoluciones de las Naciones Unidas orientadas a dar visibilidad internacional y estatuto de necesidad urgente al tema del recurso agua, a partir de su declaración como derecho humano fundamental. Veamos algunas de ellas:

Resolución No. 64/292, del 28 de julio del 2010, Asamblea General de las Naciones Unidas. Elevó a rango de derecho humano fundamental el derecho de acceso al agua potable y al saneamiento. En dicha resolución se reconoce que "...el derecho al agua potable y el saneamiento es un derecho humano esencial para el pleno disfrute de la vida y de todos los derechos humanos...".

Resolución 18/1 del 28 de septiembre del 2011, Consejo de Derechos Humanos de las Naciones Unidas. Afirma que: "... el derecho humano al agua potable y el saneamiento se deriva del derecho a un nivel de vida adecuado y está indisolublemente asociado al derecho al más alto nivel posible de salud

física y mental, así como al derecho a la vida y la dignidad humana; (...)"

Resolución A/RES/65/154, 11 de febrero de 2011, Asamblea General de las Naciones Unidas. Decidió proclamar el año "2013 como Año Internacional de la Cooperación en la Esfera del Agua".

La resolución 65/154 invita al sistema de Naciones Unidas y a todas las partes interesadas a que aprovechen el Año Internacional para promover actividades a todos los niveles, también a nivel internacional cuando corresponda, a fin de alcanzar los objetivos relacionados con el agua convenidos internacionalmente que figuran en el Programa 21, el Plan para su ulterior ejecución, la Declaración del Milenio y el Plan de aplicación de las Decisiones de Johannesburgo, y a que se siga concienciando acerca de su importancia (ONU-DAES, 2013).



Los objetivos

El Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas (ONU-DAES) estableció el Decenio Internacional para la Acción “El agua fuente de vida” 2005-2015. En el marco de este programa se definió el “2013 Año Internacional de la Cooperación en la Esfera del Agua”. El objetivo primordial de la campaña de “Cooperación en materia de agua 2013” es impulsar y fomentar la cooperación en este tema. Para alcanzar este objetivo, hay un enfoque con cuatro objetivos estratégicos:

1. Fomentar la sensibilización sobre la importancia, los beneficios y retos de la cooperación en materia de agua;
2. Mejorar el conocimiento y la capacitación para la cooperación en materia de agua;
3. Estimular acciones concretas e innovadoras hacia la cooperación en materia de agua;
4. Fomentar las asociaciones y el diálogo en torno a la cooperación en materia de agua.

Se resaltarán iniciativas exitosas de cooperación en torno al agua y se identificarán los temas más relevantes entre los cuales se encuentran: educación sobre el agua, diplomacia del agua, gestión de aguas transfronterizas, financiación, marcos jurídicos nacionales e internacionales y vínculos con los Objetivos de Desarrollo del Milenio (Naciones Unidas, 2013b).

Las exhortaciones

En ese sentido, en el Informe del Consejo de Derechos Humanos de las Naciones Unidas, 18º período de sesiones (12 a 30 de septiembre y 21 de octubre de 2011), Resolución 18.1, El derecho humano al agua potable y el saneamiento, se exhorta a los Estados a que:

- a) Vigilen de continuo y analicen periódicamente el grado de realización del derecho al agua potable y el saneamiento con arreglo a los criterios de disponibilidad, calidad, aceptabilidad, accesibilidad y asequibilidad;
- b) Evalúen las políticas, programas y actividades existentes en materia de agua y saneamiento, teniendo debidamente en cuenta la ordenación de las aguas residuales y en particular su tratamiento y reutilización, controlen los recursos destinados a aumentar el acceso adecuado, identifiquen las partes interesadas y evalúen su capacidad;
- c) Preparen planes y estrategias integrales en que se definan las responsabilidades de todos los agentes del sector del agua y el saneamiento, con objeto de lograr progresivamente la plena realización del derecho al agua potable y el saneamiento para todos, o reconsideren y revisen estos planes y estrategias, según proceda, para garantizar su compatibilidad con los principios y normas de derechos humanos;
- d) Valoren si el actual marco legislativo y de políticas es acorde con el derecho al agua potable y el saneamiento y lo deroguen, enmienden o adapten según proceda para garantizar el cumplimiento de los principios y normas de derechos humanos;
- e) Garanticen la plena transparencia del proceso de seguimiento y evaluación de la ejecución de los planes de acción, proyectos y programas en materia de agua y saneamiento, y aseguren, incluso en la planificación, la participación libre, efectiva, significativa y no discriminatoria de todas las personas y comunidades interesadas, y en particular de las personas desfavorecidas, marginadas y vulnerables;
- f) Establezcan metas de acceso a corto plazo para la prestación de un servicio universal, dando prioridad a la prestación de un servicio básico a todos antes de mejorar el servicio de quienes ya lo reciben;
- g) Establezcan indicadores —entre ellos datos desglosados— basándose en criterios de derechos humanos, para verificar los avances y detectar las deficiencias que deban corregirse y las dificultades que deban afrontarse;
- h) Aseguren la financiación, hasta el máximo de los recursos disponibles, para aplicar todas las medidas necesarias a fin de que los sistemas de agua y saneamiento sean sostenibles y los servicios estén al alcance de todos, al tiempo que se garantiza que los recursos asignados no se limitan a la infraestructura, sino que incluyen también recursos para actividades de regulación, funcionamiento y mantenimiento, estructura institucional y administrativa y medidas estructurales, en particular el aumento de la capacidad;
- i) Establezcan un marco regulador a fin de que todos los proveedores de servicios de agua y saneamiento respeten y protejan los derechos humanos



y no ocasionen violaciones o abusos de esos derechos, y velen por que, cuando se descentralicen los servicios de agua y saneamiento, existan normas mínimas de nivel nacional basadas en criterios de derechos humanos que garanticen la coherencia y el respeto de los derechos humanos en todo el país;

- j) Establezcan un marco para la rendición de cuentas que ofrezca mecanismos adecuados de supervisión y recursos legales, incluidas medidas

para superar los obstáculos que dificultan el acceso a la justicia y a otros mecanismos de rendición de cuentas, así como el desconocimiento de la ley y los derechos humanos y de la posibilidad de reivindicar esos derechos (Naciones Unidas, 2013c).

Hechos y cifras

Los hechos y cifras reportados por las Naciones Unidas relacionados con la disponibilidad y uso del agua son los siguientes (Naciones Unidas, 2013d):

- 800 millones de personas no tienen acceso al agua potable y cerca de 2500 millones no poseen servicios de saneamiento adecuado.
- De 6 a 8 millones de personas mueren anualmente a causa de catástrofes y enfermedades ligadas al agua.
- Diversos estudios muestran que si nada cambia serán necesarios 3,5 planetas para cubrir las necesidades de una población mundial cuyo estilo de vida fuera comparable al de los europeos o norteamericanos.



© Andrés Alvarado

- En los próximos 40 años, la población mundial aumentará en dos o tres mil millones de personas. Este fenómeno vendrá acompañado de una evolución de los hábitos alimentarios que se traducirá en un incremento de 70% en la demanda de alimentos de aquí a 2050.
- Más de la mitad de la población es urbana. En ocasiones, las zonas urbanas, donde el acceso al agua y a las instalaciones sanitarias es mejor que en las zonas rurales, tendrán problemas para hacer frente a este aumento demográfico. (OMS/UNICEF, 2010).
- La demanda de alimentos aumentará en 50% de aquí a 2030 (70% para 2050), en tanto que las necesidades de energía hidroeléctrica y otras energías renovables aumentarán el 60% (WWAP, 2009). Ambas problemáticas están relacionadas: la creciente producción agrícola hará que aumente el consumo de agua y de energía, lo que provocará una demanda de agua mayor.
- La disponibilidad de agua va a disminuir en numerosas regiones y, sin embargo, el consumo mundial de agua para fines agrícolas aumentará un 19% de aquí a 2050. Sin progresos tecnológicos o intervención política, la demanda aumentará más todavía.
- 85% de la población mundial vive en la mitad más seca del planeta.
- El riego y la producción de alimentos son las actividades que más agua precisan. La agricultura consume casi el 70% del agua, una cantidad que en las economías emergentes alcanza el 90%.

- El consumo creciente de productos cárnicos es desde hace 30 años lo que más impacto tiene en el consumo de agua, un fenómeno que se prolongará durante toda la primera mitad del siglo XXI, según la FAO. Son necesarios 3.500 litros de agua para producir un kilo de arroz, en tanto que para producir un kilo de carne de vacuno se precisan 15.000 litros de agua. (Hoekstra y Chapagain, 2008).
- Casi el 66% de la superficie de África es árida o semiárida. De los 800 millones de habitantes del África subsahariana, casi 300 millones disponen de escasos recursos hídricos, es decir, menos de 1.000 metros cúbicos por habitante (NEPAD, 2006).
- Al menos doce países de la región árabe y de Asia Occidental sufren graves carencias de agua, con menos de 500 metros cúbicos de agua procedente de fuentes renovables por habitante.

La Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia, en este marco, y a través de este número especial de Innovación y Ciencia, se une a la celebración del "2013 Año Internacional de la Cooperación en la esfera del agua".

Referencias

- Naciones Unidas, Consejo de Derechos Humanos (2011), Informe del 18º período de sesiones (12 a 30 de septiembre y 21 de octubre de 2011), Resolución 18.1, El derecho humano al agua potable y el saneamiento.
- Naciones Unidas, Departamento de Información Pública (2013a), Podemos erradicar la pobreza: ob-

jetivos del milenio y más allá de 2015, sección "Antecedentes", [documento electrónico], consultado en septiembre 2013, disponible en <http://www.un.org/es/millenniumgoals/bkgd.shtml>

Naciones Unidas, Departamento de Información Pública (2013b), Podemos erradicar la pobreza: objetivos del milenio y más allá de 2015, sección "Objetivo 7: garantizar la sostenibilidad del medio ambiente", [documento electrónico], consultado en septiembre 2013, disponible en <http://www.un.org/es/millenniumgoals/environ.shtml>

Naciones Unidas, Departamento de Información Pública (2013c), Año Internacional de la cooperación en la esfera del agua, Portada, [documento electrónico], consultado en septiembre 2013, disponible en <http://www.un.org/es/events/worldwateryear/index.shtml>

Naciones Unidas, Departamento de Información Pública (2013d), Año Internacional de la cooperación en la esfera del agua, Hechos y cifras, [documento electrónico], consultado en septiembre 2013, disponible en <http://www.un.org/es/events/worldwateryear/factsfigures.shtml>

Naciones Unidas. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales (ONU-DAES, 2013), Decenio Internacional para la Acción 'El agua fuente de vida' 2005-2015, consultado en septiembre 2013, disponible en http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water_cooperation_2013/iywc_and_wwd.shtml

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Colombia (PNUD Colombia, 2013), Objetivos del Milenio, [documento electrónico], consultado en septiembre 2013, disponible en http://www.pnud.org.co/sitio.shtml?apc=aBao20101--&m=a&e=A#.Ukw_iYZWYgz



genera conocimiento que impulsa desarrollo

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

Casos exitosos de I+D+i



Innovación empresarial en el sector manufacturero

A partir de un estudio sobre el comportamiento innovador de empresas manufactureras de Colombia, se trabaja en el diseño e implementación de programas estratégicos de gestión de la innovación empresarial, que buscan dotar a las organizaciones de herramientas que les permitan potencializar su actividad innovadora.



Tv para resolver problemas de matemáticas

Como resultado de una investigación en educación y comunicación, se produce una serie de televisión para preescolares: *Waldo y los numerolocos*, que promueve el desarrollo del pensamiento matemático de los menores y sus capacidades para mantener relaciones saludables con la sociedad.



Validez científica de plantas medicinales

Investigadores en Química y Biología de Uninorte validan científicamente el conocimiento etnobotánico que los indígenas Mokaná poseen sobre plantas medicinales del Atlántico. Se espera que este trabajo contribuya al desarrollo económico sostenible de esta comunidad.



Manejo sostenible de los arroyos

Las tecnologías sostenibles de drenaje urbano, como los jardines de lluvia, los techos verdes y los tanques de almacenamiento, pueden ser parte de la solución al problema de los arroyos en Barranquilla. Un estudio demostró que estas técnicas, que apuntan al manejo sostenible de las cuencas urbanas para reducir los caudales pico, podrían ser efectivas para la ciudad.



Modelo de revelación de diagnóstico de VIH a menores de edad

Expertos en psicología y salud pública de Uninorte desarrollaron un modelo que se sirve de sesiones educativas y procesos lúdicos para ayudar a familiares y profesionales de la salud a revelar, a menores de edad seropositivos para VIH, su diagnóstico.

Mayores informes:
Dirección de Investigación, Desarrollo e Innovación
Teléfonos: (57-5) 3509420 - 3509422
dip@uninorte.edu.co
Barranquilla, Colombia

www.uninorte.edu.co/web/investigacion



Ciencias planetarias

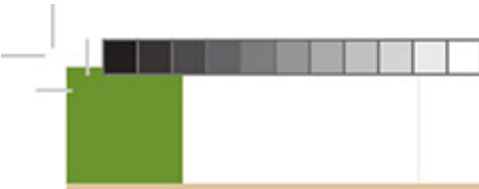
GERMÁN PUERTA RESTREPO

PLANETARIO DE BOGOTÁ

gpuerta@astropuerta.com.co



Agua y
vida en el
Sistema Solar



Agradezco a Camilo Delgado-Correal por las fructíferas discusiones realizadas en la construcción de este texto.

Resumen

La Tierra es el único cuerpo del Sistema Solar que tiene agua líquida en la superficie, lo cual, entre otras cosas, permitió el desarrollo de la vida como la conocemos. Sin embargo, en otros planetas y sus lunas el agua en diversos estados es ahora más común que lo que pensábamos hace unos años, lo cual tiene serias implicaciones en las posibilidades de vida extraterrestre y en las futuras excursiones planetarias. Pero el elemento en la Tierra es bastante escaso y se encuentra en alto riesgo, y lo sucedido en otros mundos es un ejemplo de lo que nos puede estar pasando.

Origen del agua en La Tierra

La lectura de este artículo es posible en este momento gracias a que nuestro planeta tuvo todas las condiciones para la formación y evolución de la vida hasta las estructuras complejas que somos los seres humanos. Entre estas se destaca la presencia del agua en estado líquido en la superficie, lo cual hace del planeta Tierra el único cuerpo del Sistema Solar con esta característica. Algo más del 70% de la esfera terrestre está cubierta por agua, y la atmósfera contiene también agua, en forma de vapor, proveniente especialmente de la evaporación del agua de mar en cantidades variables según la altura.

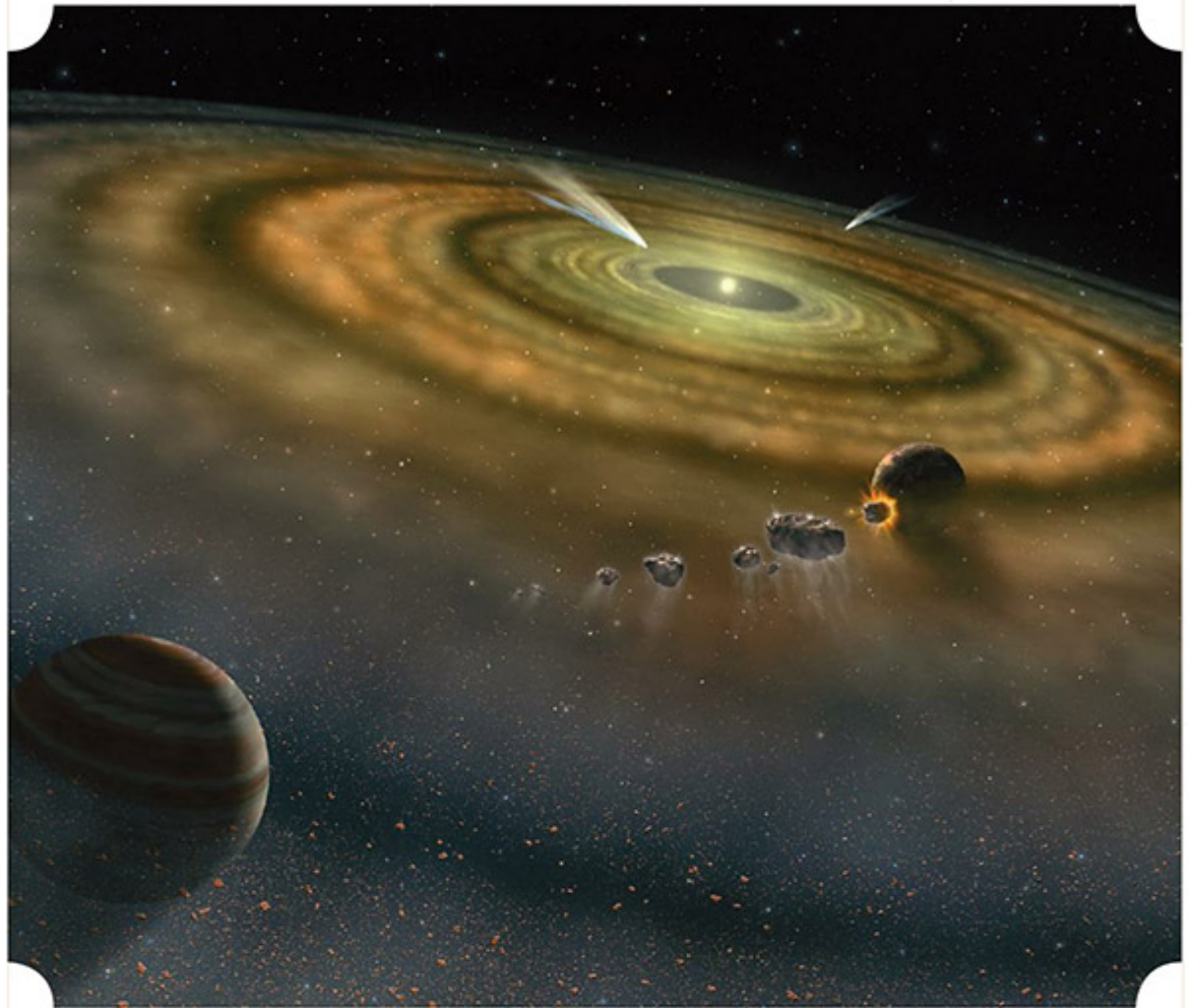
Pero ¿cuál es el origen del agua de La Tierra? La respuesta hay que buscarla en el mismo nacimiento del Sistema Solar. Aunque existen varias teorías, la más aceptada es la Teoría Nebular¹ que plantea el origen del Sistema Solar a partir de una nebulosa originada de una explosión supernova, la muerte de una estrella anterior al Sol. La inmensa mayoría de las partículas se acumularon en el centro y a su alrededor un gigantesco disco de materia comienza a girar. En el centro se forma el Sol y por acreción² de los materiales se producen choques y fusiones en el disco generando estructuras mayores, "planetesimales"³ que luego dan origen a los planetas y lunas. Y todo esto sucedió hace unos 4.550 millones de años⁴.

1. La Teoría Nebular fue planteada originalmente a principios del Siglo XIX y en forma independiente por el filósofo prusiano Emanuel Kant y por el físico y matemático francés Simon Laplace.

2. Agregación de materia a un cuerpo. *Astromía, Diccionario de astronomía.*

3. Agregados de materia de los que nacieron los planetas. *Astromía, Diccionario de astronomía.*

4. (*Planet Formation, 1993*) Existen varias hipótesis de la formación del Sistema Solar incluyendo la conocida como "Modelo de Niza" que tiene bastante aceptación.



Unos 50 a 100 millones de años después, un objeto del tamaño de Marte choca contra la infante y ardiente Tierra dando como resultado la formación de la Luna con los materiales que salieron expulsados. Luego, entre los 150 a 200 millones de años, la Tierra comienza a enfriarse en medio del bombardeo de objetos que vienen de todos lados del Sistema Solar, el evento llamado "bombardeo pesado tardío" que dura otros 200 millones de años. Y hay evidencias que en este período ya había grandes cantidades de agua en el planeta (Portilla, 2013).

Desde hace años se han estudiado dos opciones para explicar el origen del agua en la Tierra: teorías endógenas y teorías exógenas. Una posibilidad endógena es que las moléculas de agua se hayan formado cuando el hidrógeno y el oxígeno se combinaron dentro de la Tierra en sus inicios y al reaccionar a altas temperaturas emergieron como vapor en erupciones volcánicas. Parte de las moléculas de agua se integraron a la atmósfera primitiva, y otra parte se enfrió y condensó para formar el agua líquida y los hielos en la superficie terrestre.

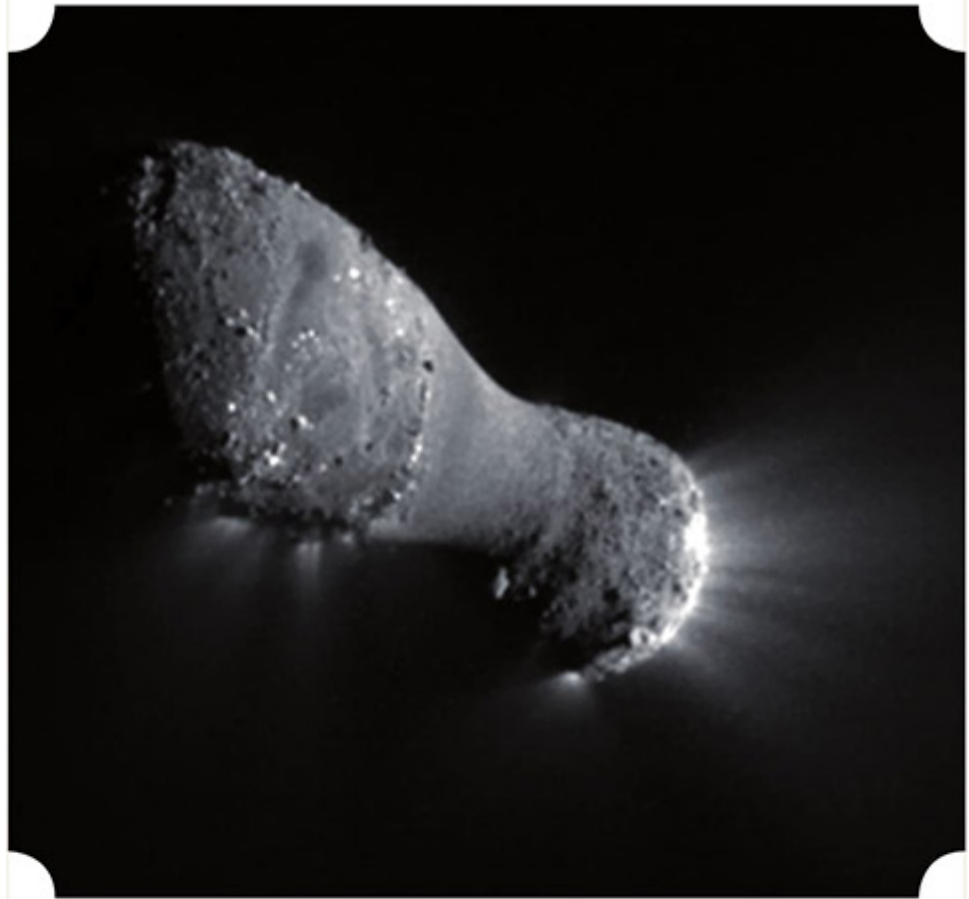
Otras teorías apuntan a que las moléculas de agua ya formadas podrían haber llegado en el bombardeo pesado a nuestro planeta en cometas, que se sabe contienen agua-hielo. Hasta hace poco los astrónomos miraban con escepticismo la teoría de los cometas, pues no podía explicar el hecho de que alrededor del 0,3% del agua oceánica contenga una forma inusual de hidrógeno llamada deuterio. Sin embargo, en 2011 los astrónomos encontraron deuterios en el agua del cometa Harley 2, lo cual apoya esta teoría (Hartogh et al., 2011).

Figura 1.

Impresión artística de la formación del Sistema Solar. Fuente: Netherlands Space Office.

Figura 2.

El núcleo del cometa Hartley 2 tiene un tamaño de 4 x 2 km. Se observan los jets de agua. Fuente: Misión NASA EPOXI.



En una tercera hipótesis mixta, el agua en la Tierra no fue originada por una sola causa; parte se originó en el planeta por reacciones a elevadas temperaturas y erupciones volcánicas, y otra parte provino de los cometas. Esta idea concuerda también con el planteamiento de que la atmósfera y los océanos se desarrollaron juntos. Quedan abiertas las puertas al planteamiento de otras teorías, aunque numerosos estudios coinciden en afirmar que el agua llegó a la Tierra en forma de hielo en el interior de cometas y asteroides que al impactar sobre la superficie terrestre llenaron los océanos.

En cuanto al origen de la vida en la Tierra, también hay varias hipótesis, endógena, exógena y mixta. En la primera, los bloques básicos de la vida se derivan de reacciones con descargas eléctricas y radiación a partir de moléculas inorgánicas presentes en la atmósfera primitiva. Esta idea es el corazón del trabajo clásico de Alexander Oparin (2005 [1952]) y de los famosos experimentos de Stanley Miller y Harold Urey (Purve, 2008). En la segunda, con bastante acogida, los principales compuestos químicos de la vida llegaron de fuera de la Tierra en cometas y asteroides que contienen, además de agua, compuestos como amoníaco, metanol y dióxido de carbono y los bloques de construcción de proteínas y pares de bases de nucleótidos de ADN y ARN.

En la opción mixta, la caída de los cometas pudo proveer el suministro de energía suficiente para poner en marcha ciertas reacciones químicas que de otro modo sería más difícil que se produjeran espontáneamente. Así, los bloques básicos de la vida surgieron aquí pero como consecuencia de reacciones provocadas por la colisión de cometas contra la Tierra (Goldman & Tamblin, 2013). De todas formas, el flujo de materia orgánica y agua a la Tierra a través de cometas y asteroides durante los períodos del intenso bombardeo pudo ser tan alto como 10 mil millones de toneladas por año, haciendo ingresar así materia orgánica superior en varios órdenes de magnitud a la que existía previamente sobre la Tierra. ¿Y qué pasó en otros planetas?



¿El planeta rojo fue azul?

El primer dibujo telescópico que presenta un genuino rasgo de la superficie de Marte se le debe al astrónomo Christiaan Huygens cuando descubrió el 28 de noviembre de 1659 una oscura región triangular que llamó "gran pantano", conocida luego como Syrtis Major. La idea de agua y vida en Marte comenzaba muy temprano. Luego, en la noche del 13 de agosto de 1672, Huygens descubrió los casquetes polares del planeta claramente visibles con modestos instrumentos (Puerta, 2002). Más tarde, a fines del siglo XIX, surge la famosa polémica sobre los "canales" marcianos gracias a las observaciones de Giovanni Schiaparelli y de Percival Lowell que dan origen a las fantásticas ideas de un Marte habitado.

Finalmente, el 14 de julio de 1965 la nave estadounidense *Mariner 4* sobrevoló Marte a una altura de 10.000 km. y envió las primeras imágenes cercanas de la superficie revelando un paisaje desértico y repleto de cráteres sin encontrar marcianos, lagos, canales o vegetación por ningún lado. En 1971 la sonda *Mariner 9* fotografió enormes cañones y lechos secos de lo que aparentemente fueron grandes ríos; y en 1976 las naves *Vikingo* comprobaron evidencias de antiguos glaciares en Marte, la prueba más sólida de la presencia de agua en dimensiones oceánicas.

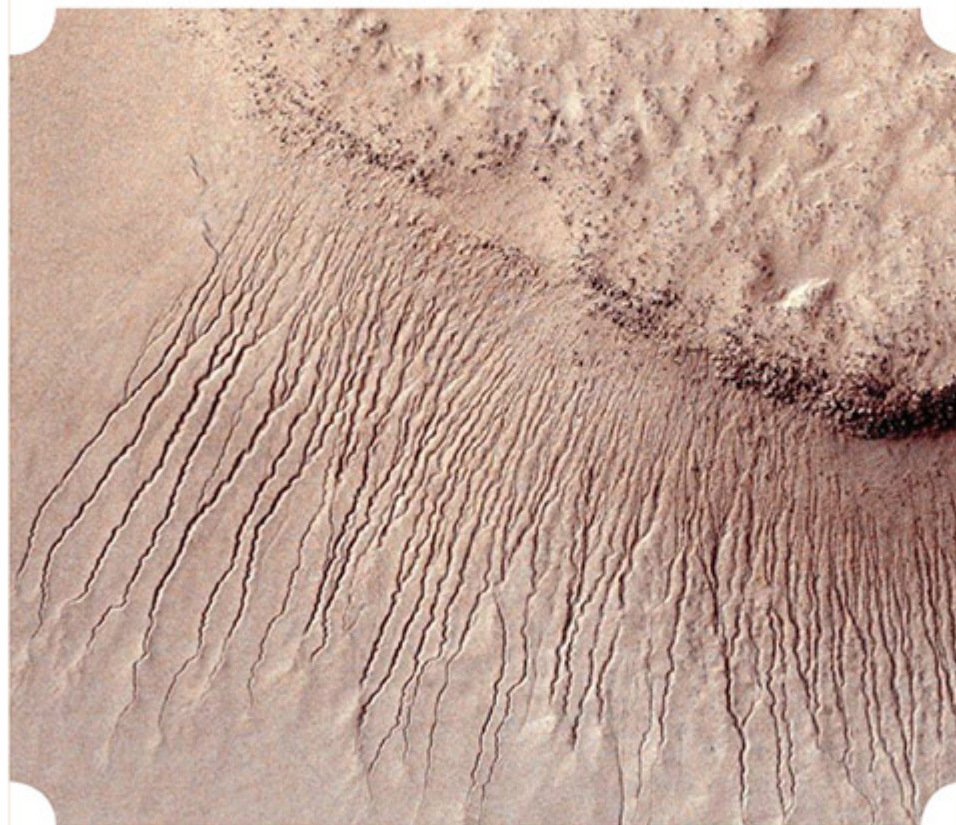


Figura 3.

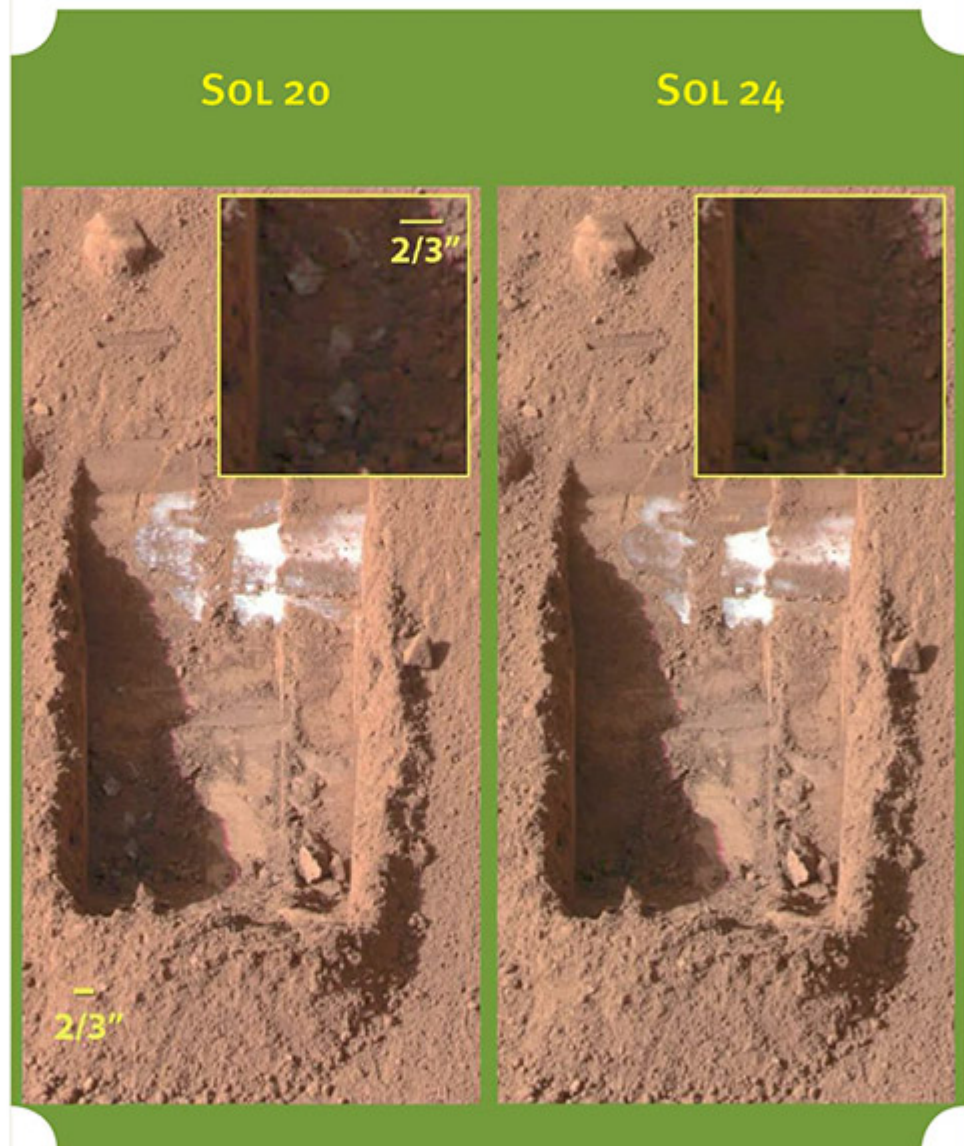
Barrancos similares a cauces secos en la Tierra aparecen en esta imagen de la cuenca Hellas en Marte. Fuente: NASA - Mars Reconnaissance Orbiter.

Estas hipótesis sobre Marte se confirmaron con las misiones *Mars Pathfinder* y *Mars Global Surveyor* en 1997. Esta última nos arrojó las imágenes espectaculares de la nueva cartografía marciana: depresiones similares a lagos secos, sistemas de antiguos canales, y cauces similares a los producidos por la expulsión de agua del interior del planeta. En esta teoría se nos presenta un planeta Marte más caliente y húmedo que el actual, gracias a una densa atmósfera que producía un apreciable efecto invernadero; esto sucedía poco después del bombardeo meteórico pesado hace 4.000 millones de años, y luego, durante algún tiempo, el clima de Marte fue relativamente húmedo y cálido, y con una atmósfera más densa que la que existe ahora (Estados Unidos, NASA, 2001).

En todo caso, todo apunta a que hace 3.000 millones de años el planeta Marte no era el astro seco y frío de hoy, sino un lugar bastante parecido a la Tierra por su atmósfera, los grandes cuerpos de agua y los volcanes, más o menos en la misma época en que la vida surgía en nuestro planeta. Pero mientras en la Tierra la tectónica de placas ayuda a reciclar el dióxido de carbono, en Marte este proceso geológico no existe. Sin un mecanismo de largo plazo que recicle los gases entre la atmósfera y el manto, la atmósfera de Marte se rarificó y no pudo seguir atrapando la energía solar. Así el clima se deterioró congelando el agua que todavía existía. Ahora la mayor parte del agua está bajo el subsuelo, congelada o como agua subterránea.

Figura 4.

En 2008 la misión Phoenix realizó una pequeña excavación y descubrió hielo a pocos centímetros de la superficie marciana. Cuatro días después la radiación solar había sublimado el hielo. Fuente: PHOENIX LANDER – NASA.



La más profunda implicación de la antigua presencia de grandes masas de agua en Marte es la posibilidad de que la vida haya alguna vez existido. ¿Durante cuánto tiempo tuvo Marte hábitats acuáticos adecuados para la vida? Posiblemente entre 500 y 1.000 millones de años. ¿Surgió la vida en este período? Si esto fue así, en la medida que paulatinamente el planeta se hacía más seco y frío, ¿tuvieron las formas de vida la habilidad de adaptarse a las nuevas condiciones? ¿Subsisten formas de vida en Marte?

Europa y otras lunas de los planetas gigantes

El tercer astro del Sistema Solar con grandes cantidades de agua es la luna Europa de Júpiter, y aunque es algo más pequeña que nuestra Luna, ¡posiblemente contiene tanta agua o aún más que la existente en la Tierra! (Estados Unidos, NASA, 2012a). Efectivamente, toda la superficie de Europa es una gruesa capa de hielo con fracturas y grietas entrecruzadas, relativamente joven pues no presenta cráteres de grandes impactos. Se piensa que bajo el hielo existe un enorme océano de agua que cubre la estructura rocosa del satélite, y con temperaturas diversas gracias a un núcleo interior caliente.

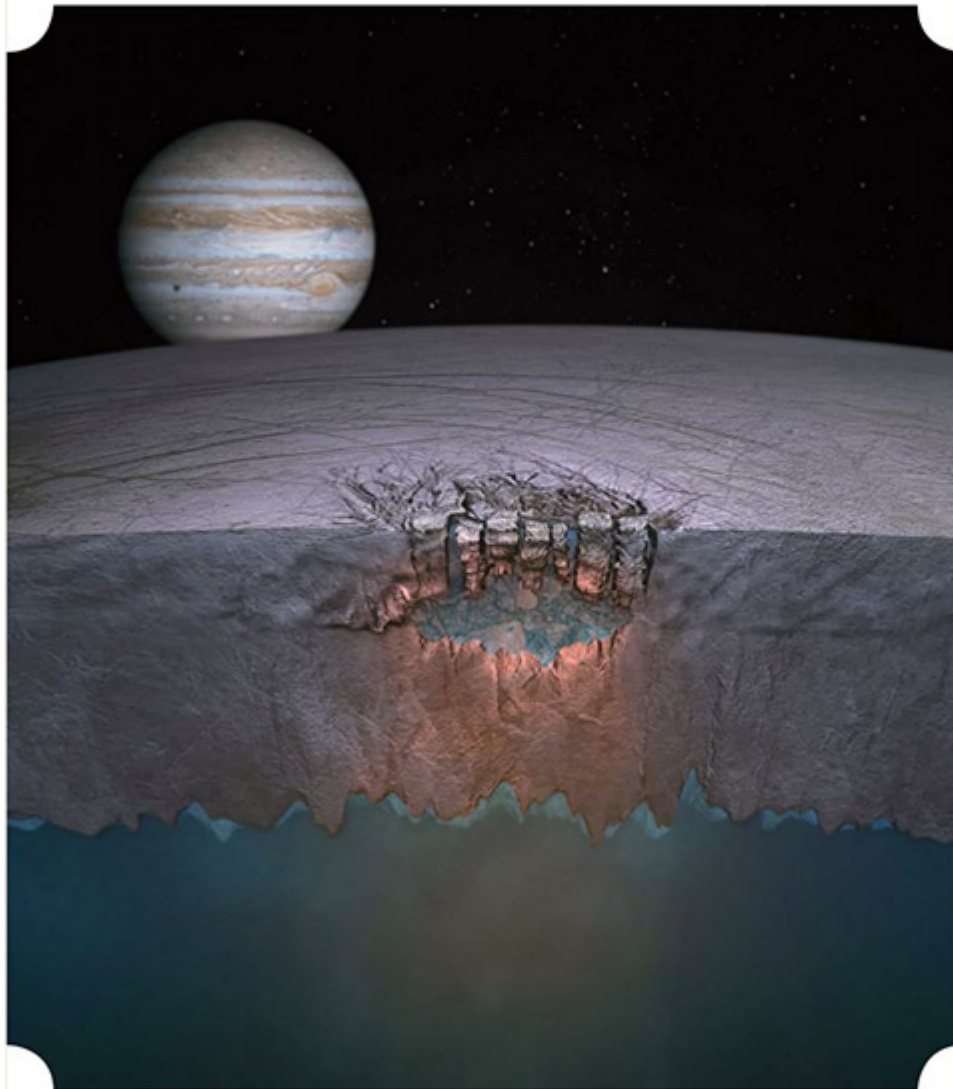


Figura 5.

Impresión artística de la superficie y el océano en la luna Europa.
Fuente: NASA.

La misión *Galileo* a Júpiter confirmó que Europa está completamente cubierta por un océano de agua líquida de alrededor de 100 km de profundidad, con la superficie congelada de unos 5 a 10 km de espesor, llena de grietas producidas por enormes mareas generadas por la atracción gravitacional de Júpiter y los otros satélites galileanos. Las mareas se estiman en 30 metros de elevación. Incluso las fotos muestran lo que parecen icebergs y masas de hielo, alguna vez separados y vueltos a unir por, tal vez, corrientes submarinas. Además, los registros de la misión *Galileo* sobre el campo magnético de Júpiter señalan una fuerte perturbación producida por Europa, bien por ser ésta una luna intrínsecamente magnética o

por contener un líquido conductor muy eficiente, como el agua; y mejor aún, agua salada. ¿Un océano de agua salada en Europa? Entonces ¿Hay fuentes internas de energía? ¿Se habrá desarrollado en este oscuro océano alguna forma de vida?

Otras lunas de los planetas gigantes (Estados Unidos, NASA, 2012b) también revelan la presencia de hielo y agua bajo sus superficies. Es el caso de las lunas de Júpiter, Ganímedes y Calisto, con mantos interiores de hielo; y el de la luna Enceladus de Saturno. La misión *Cassini* descubrió evidencia de reservas de agua líquida en Enceladus muy cerca de la superficie con géiseres que expulsan las moléculas a altas velocidades, lo cual genera muchas preguntas acerca de esta misteriosa luna (Estados Unidos, NASA, 2006).

Figura 6.

Vapor de agua presurizada bajo la superficie de la luna Enceladus es expulsado hacia el espacio. Fuente: Cassini – NASA.





Llévame a la Luna

Ante la pregunta ¿por qué no volvimos a la Luna?, hasta hace unos años respondíamos que, entre otras cosas, porque carecía por completo de agua. Sin embargo, hace un tiempo se planteó la idea que en el interior de algunos de los cráteres cerca de los polos lunares nunca llega la luz del Sol, por lo cual el material en su interior se mantiene aislado de la radiación desde hace miles de millones de años; de esta forma contendrían los hielos remanentes del bombardeo pesado tardío. El 9 de octubre de 2009 las misiones *LCROSS* y *LRO* de NASA impactaron el interior del cráter Cabeus arrojando al espacio materiales que contenían hielo de agua pura comprobando esta idea; más aún, ahora se asegura que la Luna está químicamente activa y que tiene un ciclo de agua. La diversidad de los materiales volátiles sugiere una variedad de fuentes como asteroides, cometas y una actividad interior. El agua no está uniformemente distribuida en las trampas frías sino más bien en bolsones sumando en todo caso miles de toneladas (Estados Unidos, NASA, 2010). La existencia de hielo de agua pura renueva los proyectos de bases y colonias lunares, además de la abundante presencia en los cráteres de gas de hidrógeno, amoníaco y metano que pueden emplearse para producir energía. Trampas frías como estas también podrían existir en los cráteres vecinos a los polos en el planeta Mercurio.

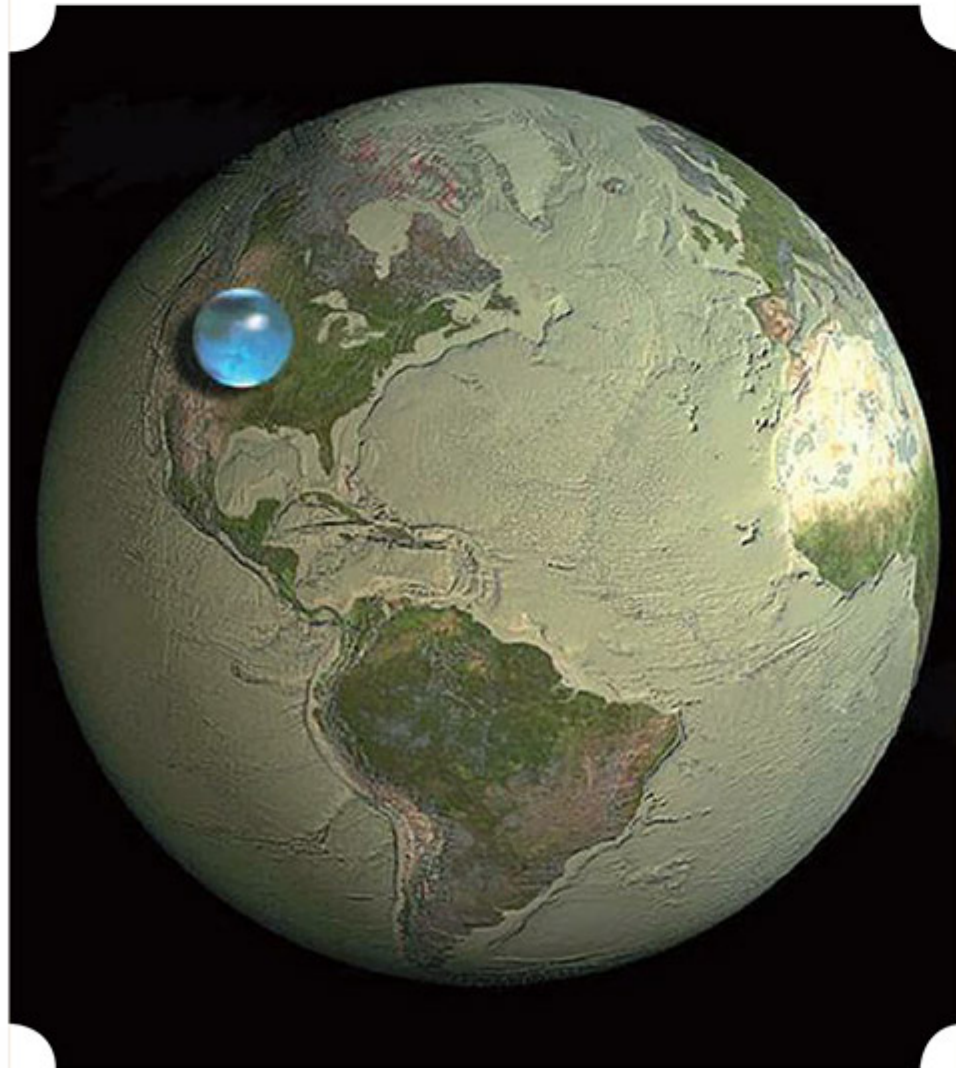


Figura 7.

Si concentráramos toda el agua de La Tierra, ocuparía un volumen como el que se muestra en esta imagen. Fuente: United States Geological Service.



Calentamiento

La cantidad de agua en La Tierra es poca en relación al volumen del planeta, pues la profundidad media de los océanos es de 4 km, apenas el 0,6% del radio terrestre (Portilla, 2013). El 97% del agua es salada y el 3% es dulce, y de este último valor, apenas el 1% son ríos, lagos y vapor en la atmósfera. El futuro de estas reservas está en riesgo si observamos lo sucedido en Venus. La Tierra y Venus son similares en tamaño, masa, densidad, composición y gravedad. Pero la atmósfera de Venus es tan densa que la presión en la superficie es 90 veces la de La Tierra y consiste principalmente de dióxido de carbono con nubes que contienen gotas de ácido sulfúrico y trazas de agua. La densa atmósfera ha atrapado la luz solar generando un efecto invernadero que elevó la temperatura de la superficie a más de 470 grados centígrados.

Sin embargo, Venus no siempre fue así; datos obtenidos en 2006 por la sonda *Venus Express* de la Agencia Espacial Europea confirmaron que en el planeta también se formaron océanos al mismo tiempo que en la Tierra, pero que estas condiciones duraron apenas unos cuantos cientos de millones de años y que desaparecieron por la acción del efecto invernadero (ESA, 2013). Venus es un retrato de lo que le puede pasar a La Tierra si seguimos arrojando el dióxido de carbono a la atmósfera. Bueno, gracias a la abundancia de agua en muchos astros, tal vez el futuro de la humanidad podría estar en otra parte.

Referencias

- Estados Unidos. National Aeronautics and Space Administration (NASA, 2001), *The Case of the Missing Mars Water*, [documento electrónico], consultado en <http://science1.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2001>
- Estados Unidos. National Aeronautics and Space Administration (NASA, 2006), [documento electrónico], consultado en http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2006/09mar_enceladus/
- Estados Unidos. National Aeronautics and Space Administration (NASA, 2010), [documento electrónico], consultado en <http://www.nasa.gov/centers/ames/news/releases/2010/10-89AR.html>
- Estados Unidos. National Aeronautics and Space Administration (NASA, 2012a), *What makes us think there is an ocean beneath Europa's icy crust?*, [documento electrónico], consultado en <http://solar-system.nasa.gov/europa/evidence.cfm>
- Estados Unidos. National Aeronautics and Space Administration (NASA, 2012b), *Solar System Exploration*, [documento electrónico], consultado en <http://solarsystem.nasa.gov/index.cfm>
- Europa Space Agency (ESA, 2013), *Venus express*, [documento electrónico], consultado en http://www.esa.int/Our_Activities/Space_Science/Venus_Express
- Goldman, N. & Tamblyn, I. (2013), *June 20 issue of The Journal of Physical Chemistry A*, California, Laboratorio Nacional Lawrence Livermore; Ontario, Instituto Tecnológico de Ontario.
- Hartogh, P. et al. (2011), "Ocean-like water in the Jupiter-family comet 103P/Hartley 2", *Nature, International Weekly Journal of Science*, Vol 4768, October.
- Oparin, A. (2005 [1952]). El origen de la vida, México, Editores Mexicanos Unidos.
- Planet Formation (1993), *Annual Review of Astronomy and Astrophysics*, 31:129-172.
- Portilla, J.G. (2013), *Origen del agua en el planeta Tierra*, [Conferencia], Bogotá, Facultad de Ciencias, Observatorio Astronómico Nacional.
- Puerta, G. (2002), *Marte, al encuentro del planeta rojo*, Bogotá, Planeta Colombiana.
- Purves, W.H. et al. (2008), *Vida: La ciencia de la biología*, Editorial Médica Panamericana.





**NOS QUEDAMOS
SIN ESPACIO**

LOS 4 MILLONES

de árboles que hemos sembrado en 6 años se tomaron este aviso y nos impidieron contar los beneficios ambientales del mayor programa de reforestación y arborización hecho recientemente en Colombia.

UN MEJOR AIRE PARA UN MEJOR FUTURO



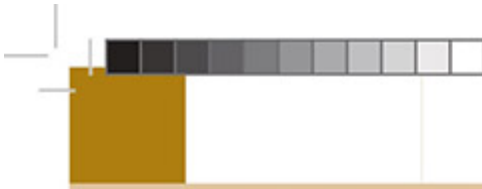
CUANDO LAS INUNDACIONES SON PERTURBACIONES ANTROPOGÉNICAS

LIZETH BARÓN MONTAÑO

Mg. ÁREAS SILVESTRES Y CONSERVACIÓN DE LA
NATURALEZA
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y DE
CONSERVACIÓN DE LA NATURALEZA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHILE

liz8416@hotmail.com





*Si hay magia en este planeta, está contenida en el agua.
Loran Eisely .*

Resumen

Hace un tiempo lo que inquietaba a científicos e investigadores era el aumento de la temperatura global, hoy lo que verdaderamente preocupa son los cambios climáticos y las consecuencias que a causa de ello se deben afrontar; a esto se suma el hecho de que muchos procesos naturales, como las inundaciones, se transforman actualmente en grandes catástrofes como resultado en gran medida del desequilibrio producido por la acción del hombre.

Introducción

Indiscutiblemente, la relación entre la intervención humana y el deterioro progresivo de los recursos naturales está generando un impacto cada vez más negativo en diferentes ámbitos: ambiental, social, económico y político, afectando de una u otra forma el desarrollo sustentable y, por lo tanto, la calidad de vida del ser humano.

Es así como estas perturbaciones alteran considerablemente los patrones de vida y normalidad, aumentan la posibilidad de riesgos, la pérdida de vidas, la destrucción de construcciones y bienes de la comunidad, pero sobre todo el mayor desastre son los daños irremediabiles sobre el medio ambiente.

Comunidades nacionales e internacionales, delegaciones de investigadores y demás actores involucrados en asuntos ambientales, han generado iniciativas dedicadas a crear instancias de deliberación y toma de decisiones conjuntas en torno a estos temas; es el caso de la Conferencia Internacional Anual de Zaragoza de ONU-Agua 2012 – 2013 “Haciendo realidad la cooperación en materia de agua” (ONU, 2012) la cual, al declarar el año 2013 como Año Internacional de la Cooperación en la Esfera del Agua, reconoce precisamente la importancia del uso y la gestión pacífica y sostenible de los recursos hídricos; orientando sus esfuerzos en el hecho de reconocer el agua como un tema relevante que requiere atención en todos los niveles y sectores, tema que debe ser abordado en el centro de las agendas como piedra angular para establecer vínculos más fuertes entre las naciones, los Estados y las comunidades.

En esta dirección, el presente artículo se orienta a generar un espacio de análisis y reflexión frente al incremento e impacto creciente de las inundaciones, promoviendo así la gestión responsable de soluciones que mitiguen este fenómeno natural, teniendo en cuenta que, como afirma Pickett (1997), es un evento que se puede modificar, amplificar sus efectos, alterar los regímenes históricos de perturbación en un ecosistema natural, aumentar su vulnerabilidad o introducir nuevos tipos de perturbación.

El desastre en cifras

Actualmente, la población mundial se calcula aproximadamente en 7 mil millones (Contador de población mundial, 2013) y probablemente crecerá hasta los 9 mil millones en el año 2050, hecho que conlleva una mayor presión sobre los recursos naturales, no solamente por el aumento de la población, sino también por el aumento en los niveles de consumo propios de las sociedades actuales, evidenciándose en que la tasa de crecimiento económico es más grande que la población, es decir que se está consumiendo más que antes.

De forma semejante, se percibe una tendencia creciente en el número de desastres causados por eventos naturales y reportados en las últimas décadas; en los últimos 30 años se han producido 6.367 desastres provocados por fenómenos naturales que han terminado con la vida de más de 2 millones de personas en el mundo, sumando así un total de 5,1 billones de individuos afectados; adicional a esto, se calculan pérdidas y daños por alrededor de 1,4 trillones de dólares (CRED, 2013). La figura 1 muestra el significativo incremento de los desastres provocados por fenómenos naturales registrados del año 1975 a 2011.

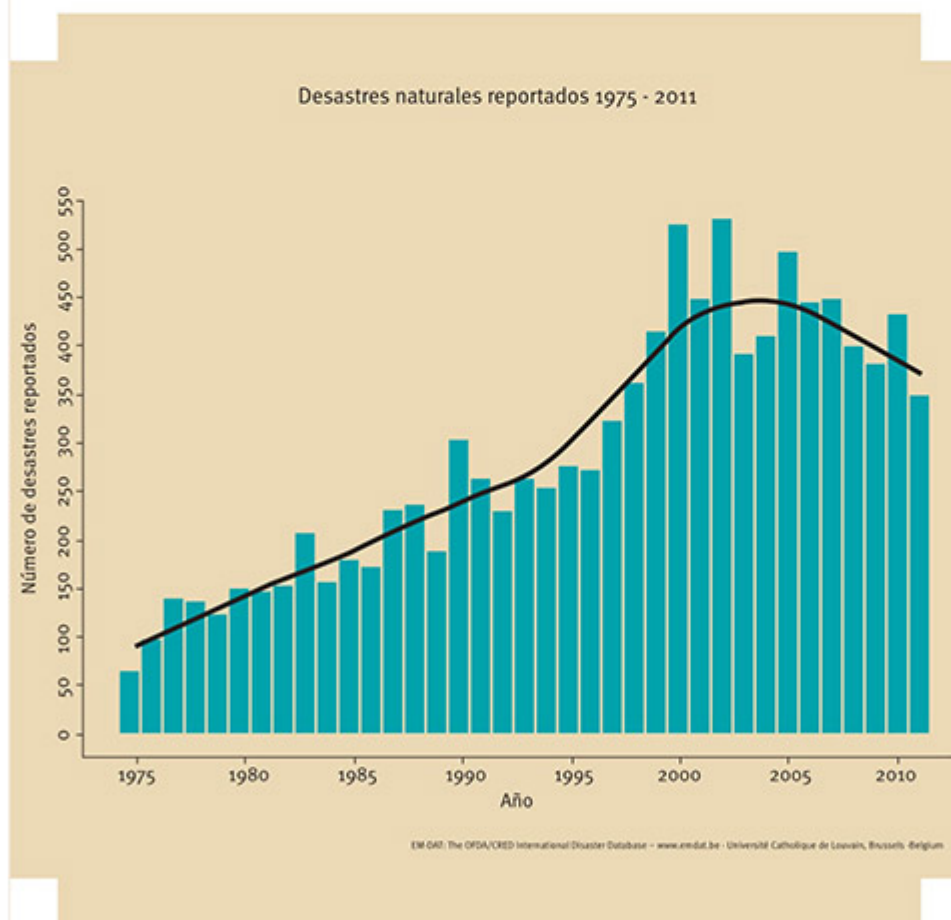


Figura 1.

Desastres originados por amenazas naturales reportados de 1975 - 2011. Fuente: CRED, 2013.

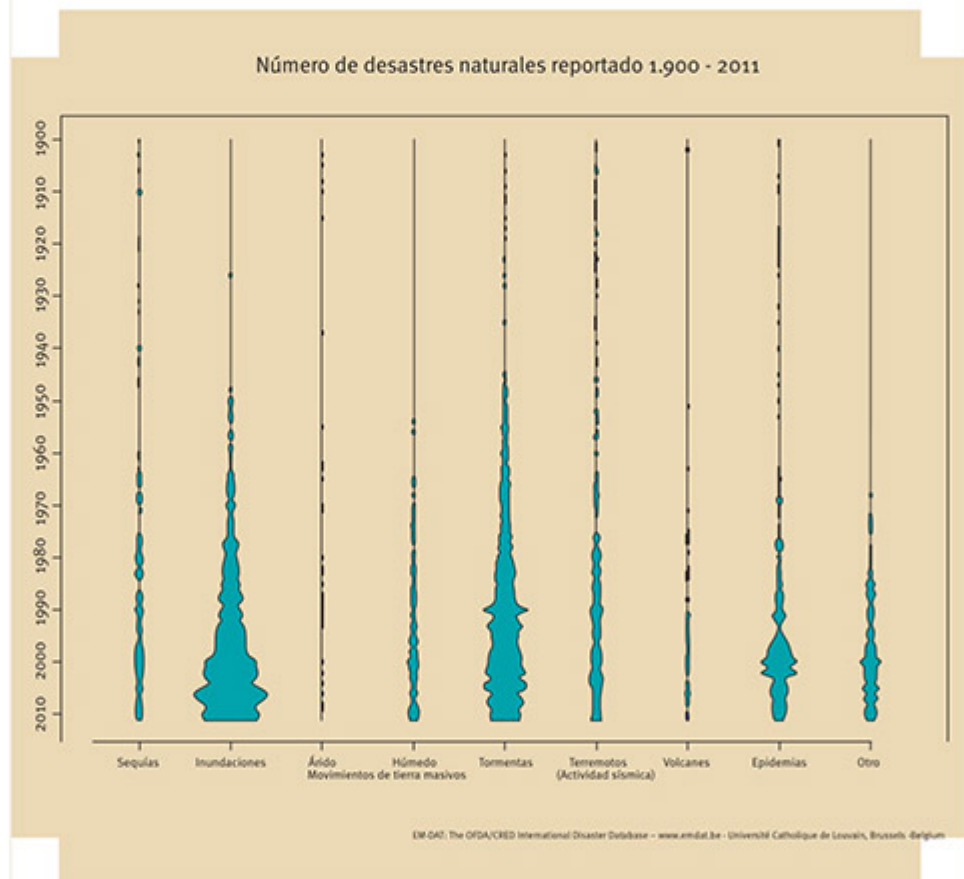
Es evidente que cada año todos estos desastres afectan a miles de personas en el mundo, dejando sin hogar a muchas familias y causando un gran impacto emocional en ellas, sin contar el impacto de las pérdidas económicas, las cuales según lo señaló el presidente del Banco Mundial Jim Young Kim (Arteaga, 2012), se han triplicado en los últimos treinta años.

A pesar de que los terremotos, inundaciones, huracanes, erupciones volcánicas entre otros, son fenómenos naturales que siempre han estado presentes en la historia de la humanidad (EIRD, 2004), es preocupante el notorio incremento en los últimos tiempos.

Analizando datos más recientes, tan solo en el año 2007 se reportó la ocurrencia de 414 desastres provocados por amenazas naturales, en éstos perdieron la vida 16.487 personas, fueron afectados más de 211 millones de habitantes y se generaron pérdidas superiores a 75.000 millones de dólares de acuerdo a datos reportados por The International Disaster Database (CRED, 2008).

Para complejizar esta panorámica, resulta pertinente considerar el elevado incremento de los desastres hidrometeorológicos, y entre ellos, las inundaciones, que en los últimos años han ido aumentando en promedio un 7,4% anual (CRED, 2013). En el año 2007, por citar un ejemplo, los desastres naturales causaron 8.859 muertes y de los 211 millones de afectados, 177 millones lo fueron por inundaciones; del total de víctimas fatales a nivel mundial por todos los desastres en los últimos 30 años, el 55% corresponden a eventos catastróficos por inundaciones (Agudelo, 2009). La figura 2 representa más detalladamente el incremento de las inundaciones (*floods*).

Figura 2.
Número de desastres naturales reportados 1900 - 2011. Fuente: EM-DAT, 2013.



Los datos aportados en la gráfica anterior como resultado de los desastres originados por las inundaciones y su impacto en la población mundial, así como las pérdidas económicas (tabla 1), las convierten en una de las calamidades que producen mayor pérdida y deterioro social lo cual conlleva ineludiblemente a identificar las principales causas de estos fenómenos pero más allá de identificar los factores externos, es necesario evaluar la responsabilidad de los seres humanos frente a aspectos cada vez más dramáticos como los cambios climáticos y la afectación del planeta con las comodidades de la vida moderna, hechos que ya comenzaron a causar estragos en nuestras vidas.



REPORTE DE INUNDACIONES POR CONTINENTE					
CONTINENTE	DESASTRE	Número de Eventos	Víctimas mortales	Total Afectados	Daños (miles de dólares)
África	Inundaciones	58	1.704	18.670.424	1.655.500
América	Inundaciones leves	2	16	94.328	0
	Inundaciones	48	412	1.622.086	1.612.200
Asia	Inundaciones leves	18	60	264.728	6.000
	Inundaciones	106	4.428	106.759.884	38.501.846
Europa	Inundaciones leves	4	346	62.820	2.770.000
	Inundaciones	25	68	145.334	5.264.800
Oceanía	Inundaciones leves	2	0	9672	0
	Inundaciones	10	48	471.090	1.408.000
TOTAL		273	7082	128.100.366	51.218.346

Figura 3.

Reporte de inundaciones por continente para el año 2012. Fuente: CRED, 2013.

Si no somos parte de la solución, seremos parte del problema

Como se mencionó anteriormente, el tema del agua ocupa hoy un lugar importante en las agendas globales, no sólo para la Asamblea General de las Naciones Unidas al proclamar el año 2013 como "Año Internacional de la Cooperación en la Esfera del Agua", sino que la agenda global del agua ha sido ampliada en otros escenarios, como lo fue en la conferencia Río+20 en la cual se destaca el agua como el núcleo del desarrollo sostenible y reafirma los compromisos en relación con el derecho humano al agua potable y al saneamiento y la necesidad de mejorar el agua, la protección de los ecosistemas (y los servicios que ofrecen en términos de mejorar la calidad y cantidad del agua) y su conservación, la eficiencia, el tratamiento de las aguas y la financiación necesaria para lograr estas metas (RIO+20 United Nations Conference on Sustainable Development, 2012)

En este contexto, los gobiernos son cada vez más conscientes de los retos relacionados con el tema del agua, de cómo están íntimamente ligados a las actividades humanas y la necesidad de abordarlos de manera inminente; pero sobre todo, la importancia de tomar medidas para crear conciencia sobre la responsabilidad de los seres humanos frente a los cambios ambientales provocados por el deterioro de los recursos naturales.

Sin embargo, hay que considerar que las estrategias deben acoplarse según las condiciones de cada país, pues

...no es lo mismo que ocurra una catástrofe en regiones más desarrolladas donde existe mayor infraestructura y por lo tanto sus pérdidas económicas por desastres son más elevadas en términos absolutos, pero que a la vez cuentan con más recursos institucionales, humanos y financieros, lo que les permite normalmente resistir mejor y recuperarse más rápido después de estos eventos catastróficos en comparación con los países en desarrollo quienes son más vulnerables a estos eventos (Mileti, 1999; Manson et al., 2009).

Estos cambios, entre los que se destacan las constantes inundaciones, son, como afirma Bunyard (2012), producto del calentamiento provocado, entre otros factores, por las emisiones anuales de gases efecto invernadero procedentes de la fabricación global, del uso de combustibles fósiles (carbón y petróleo) como fuentes de energía en la industria y el transporte, los incendios forestales y demás actividades humanas asociadas al proceso de industrialización.

El panorama resulta cada vez más desalentador si se tiene en cuenta que año tras año las inundaciones producen mayores desastres, motivados muchas veces por la mano del hombre, en ocasiones porque deteriora progresivamente las cuencas y cauces de ríos y quebradas, deposita en ellos basura, tapona drenajes naturales limitando las ciénagas, aumenta la erosión con talas y quemas indiscriminadas, o, como plantea Delgadillo (1996), ocasiona cambio en el uso del suelo, se establece en áreas de riesgo o degrada ecosistemas primordiales que podrían regular o mitigar el impacto de los fenómenos naturales causantes de desastres.

Puede considerarse que la cantidad de agua que llueve cada año debería ser aproximadamente igual, pero a causa de las razones anteriormente expuestas, cada vez se presentan con más frecuencia y ni siquiera coinciden con las temporadas invernales (HIMAT, 2013), incluso puede asegurarse que las inundaciones forman parte de procesos naturales de los que depende el mantenimiento de biodiversidad, pero muchas veces esto entra en conflicto con las actividades humanas (Manson & Peláez, 2009). Ante esta situación, podríamos entonces cuestionarnos si somos parte de la solución o somos parte del problema.



A manera de conclusión

No resulta ajeno el hecho de que las inundaciones y demás problemas que se enfrentan por la excesiva generación de gases como el dióxido de carbono, causantes de la acumulación de calor en la superficie de la Tierra, son responsabilidad de todos.

Es cierto que los gobiernos deben generar estrategias que fortalezcan un entorno adecuado para el cambio de conciencia, que deben hacer políticas públicas que promuevan la conservación y restauración de ecosistemas naturales, e insistir en el manejo adecuado y sostenible de los recursos naturales por parte del sector productivo reduciendo así el riesgo de inundaciones.



Sin embargo, no se puede olvidar la propia responsabilidad, ya que en el ámbito personal es fácil culpar a otros por el cambio climático actual, pero la realidad es que, con raras excepciones, todos los seres humanos aspiran a las comodidades que ofrece la vida moderna, incluyendo con ello prácticas como la obsolescencia programada, el despilfarro de los recursos naturales o el uso desmedido de combustibles fósiles.

En este sentido, la prioridad en materia ambiental debe enfocarse en disminuir los impactos sobre el entorno, orientando las actuaciones hacia la minimización de emisiones de gases, optimización del consumo de agua, reducción de la carga contaminante de los vertidos, correcta gestión de los residuos y demás medidas que mitiguen las consecuencias de nuestras propias actuaciones.

Referencias

- Agudelo, O. (2009), "Inundaciones en Colombia: Un desastre que no es natural", *UN Periódico*, 12 de abril, p. 13-15.
- Arteaga, J.M. (2012), "Desastres naturales cuestan 1,3 billones de dólares: BM", [documento electrónico], *El Universal*, México (4 de noviembre), recuperado el 5 de agosto de 2013, de <http://www.eluniversal.com.mx/notas/880851.html>.
- Bunyard, P. (2012), "Todos somos culpables", *Hulla Social*, 22-24.
- Colombia. Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de tierras. (HIMAT, 2013), recuperado el 5 de agosto de 2013, de http://www.sigpad.gov.co/sigpad/paginas_detalle.aspx?idp=144
- Contador de población mundial. (2013). Recuperado el 1 de agosto de 2013, de <http://www.census.gov/popclock/>
- Delgadillo, M. (1996), *Desastres naturales. Aspectos sociales para su prevención y tratamiento en México*, México D.F., Instituto de Investigaciones Económicas UNAM.
- Manson, R. & Peláez, J. (2009). *Perturbaciones y desastres naturales: impactos sobre las ecorregiones, la biodiversidad y el bienestar socioeconómico*, (Vol. II), México D.F., Conabio.
- Mileti, D. (1999). *Disasters by design: A reassessment of natural hazards in the United States*, Washington, D.C., National Academy of Sciences.
- Naciones Unidas. Conferencia Internacional Anual de Zaragoza de ONU -Agua 2012/2013 (ONU, 2012), *Haciendo realidad la cooperación en materia de agua* (8 de enero de 2013). Recuperado el 5 de agosto de 2013, de http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/water_cooperation_2013
- Naciones Unidas. Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (EIRD, 2004), *Vivir con el riesgo, extracto del informe mundial sobre las iniciativas para la reducción de desastres*, recuperado el 1 de agosto de 2013, de http://www.unisdr.org/eng/about_isdr/bd-lwr-2004-spa.htm
- Pickett, S.R. (1997), *The ecological basis of conservation: Heterogeneity, ecosystems and biodiversity*, Nueva York, Chapman & Hall.
- RIO+20 United Nations Conference on Sustainable Development (15 de agosto de 2012), recuperado el 25 de julio de 2013, de <http://www.uncsd2012.org/rio20/>
- Université Catholique de Louvain, Brussels - Belgium. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED, 2008), *EM-DAT The International Disaster Database*, [documento electrónico], recuperado el 3 de agosto de 2013, de <http://www.emdat.be/natural-disasters-trends>
- Université Catholique de Louvain, Brussels – Belgium. Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED, 2013), *EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database – www.emdat.be*, recuperado el 3 de agosto de 2013, de <http://cred.be>






GERMÁN POVEDA

DEPARTAMENTO DE GEOCIENCIAS Y MEDIO AMBIENTE
UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, SEDE
MEDELLÍN, COLOMBIA

gpoveda@unal.edu.co



**EL CAMBIO CLIMÁTICO
INDUCIDO POR EL HOMBRE
Y SUS IMPACTOS SOBRE
LOS RECURSOS
HÍDRICOS DEMANDAN
ACCIONES URGENTES**



Introducción

El 4^º. Reporte de Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático —AR4— (IPCC, 2007) y otro estudio más reciente de esa misma organización sobre la gestión de los riesgos de fenómenos hidro-meteorológicos extremos y desastres —SREX— (IPCC, 2012) han demostrado a través de múltiples evidencias observacionales de la atmósfera, los continentes, los océanos y la criósfera, que el clima del planeta está cambiando como resultado de las actividades humanas. Principalmente debido al aumento en las emisiones de gases de efecto invernadero (dióxido de Carbono, metano, óxido nitroso, entre otros), así como por deforestación y cambios en los usos del suelo. El cambio climático está afectando los sistemas bio-geofísicos y sociales en todos los continentes. El aumento de la temperatura ocasiona enormes impactos ambientales, económicos, sociales y ecológicos, incluyendo el derretimiento de los casquetes de hielo polar y de los glaciares de alta montaña, el aumento del nivel del mar (ocasionando erosión costera e inundaciones de zonas habitadas por el ser humano). Además, se está alterando el ciclo hidrológico del planeta, con eventos más intensos de tormentas y sequías, así como la ocurrencia de huracanes con mayor poder destructivo, e inundaciones, deslaves, y avalanchas. Las consecuencias se traducen en pérdida de ecosistemas (páramos, bosques, corales, etc.), y en biodiversidad, así como en impactos negativos en la productividad agrícola y en la seguridad alimentaria, en la infraestructura, el turismo, las ciudades, y el incremento de enfermedades que dependen del clima, como es el caso de la malaria y el dengue en Colombia (Poveda y Rojas, 1997; Poveda et al., 2001, 2011).

El calentamiento global sí es inducido por el hombre

La pregunta sobre el origen del cambio climático y del calentamiento global ya ha sido respondida por la comunidad científica mundial. El trabajo de Anderegg et al. (2010) demuestra que el 97-98% de los investigadores activos en el tema concuerdan con que el cambio climático se debe a la acción humana, así como con las conclusiones del 4^º Reporte del IPCC (2007). El consenso entre los expertos en áreas como la climatología, glaciología, ciencias atmosféricas, hidrología, biogeoquímica, y otras, acerca del origen antrópico del cambio climático es tan robusto como lo es cualquier consenso sobre cualquier tema en cualquier ciencia seria.

Un pronunciamiento de trece academias de ciencias de los países del G-8 (incluyendo Inglaterra, Francia, Rusia y Estados Unidos), y de otros cinco países (Brasil, China, India, México, y Sur África), afirma que “es esencial que los líderes del mundo acuerden una reducción en las emisiones necesarias para combatir las consecuencias negativas del cambio climático antropogénico”. Además, llama a que “el G8+5 debería dirigir la transición hacia una economía eficiente en energía y de bajo Carbón, y apoyar el desarrollo de investigación e innovación de tecnologías de mitigación y adaptación”. Las academias también llaman a aumentar de manera significativa la investigación fundamental sobre los temas relacionados con hidro-climatología, disminución de las energías derivadas de combustibles fósiles y fomento de las energías alternativas, y sobre las maneras de proteger los ecosistemas naturales ante las amenazas del cambio ambiental global (Showstack, 2009).




Otros grupos científicos también concuerdan. La American Geophysical Union (AGU), la American Meteorological Society (AMS), y la American Association for the Advancement of Science (AAAS) se han pronunciado en años recientes, concluyendo que la evidencia del cambio climático causado por los seres humanos es avasallante. En particular, la reciente declaración de la American Geophysical Union, una organización que congrega más de 62.000 científicos de 144 países expertos en los temas de la Ciencia de la Tierra y el Espacio, afirma que las actividades humanas están cambiando el clima de la Tierra, y que son responsables por el aumento de 0,8°C en la temperatura promedio del planeta durante los últimos 140 años. Además, la declaración de la AGU (2013) indica que todas las observaciones son consistentes con la física y las predicciones de cómo debería cambiar el clima debido a las emisiones de gases de efecto invernadero, y son inconsistentes con explicaciones del cambio climático debido a influencias naturales. Debido a que los procesos naturales no pueden remover rápidamente los gases de efecto invernadero (principalmente el dióxido de carbono) de la atmósfera, nuestras emisiones pasadas, presentes y futuras afectarán el sistema climático por milenios.

Sobre el negacionismo del cambio climático

El principio fundamental de la ciencia es su capacidad para debatir y cuestionar el conocimiento científico prevalente, cuando las evidencias y el método científico así lo indican. El debate científico es absolutamente indispensable para la existencia de una ciencia dinámica y vigorosa. Pero los escépticos sobre el cambio climático y el calentamiento global, en lugar de considerar las evidencias en la búsqueda de la verdad, se rehúsan a aceptar el colosal volumen de evidencias sobre las causas humanas del calentamiento global. Eso no es escepticismo sino negacionismo. Para negar el consenso científico basado en tan enorme caudal de evidencias, es necesario negar las evidencias científicas. Pero este no es el caso en relación con el negacionismo del calentamiento global. Los negacionistas critican furiosamente cualquier evidencia que confirme el origen antrópico del calentamiento global, y sin embargo aceptan sin cuestionar cualquier argumento, opinión, editorial, o estudio que refute el cambio climático (Poveda, 2012).





La supuesta división entre los científicos que apoyan ó refutan el cambio climático es una falacia, una falsa dicotomía que se ha querido plantear para vender noticias, pero sobre todo para no enfrentar las causas del colosal problema sistémico del calentamiento global, bien resumidas por Brown (2009), y que ha impedido, conjuntamente con la falta de voluntad política de las naciones, que se tomen las decisiones para su solución, e implementar las acciones necesarias. El negacionismo del cambio climático antropogénico ha sido dirigido en lo fundamental por los mismos intereses que durante el siglo pasado negaban que el cigarrillo causa el cáncer, o que el HIV es causa del SIDA, incluyendo los de un grupo de científicos influyentes que han hecho todo lo posible por tratar de impedir que el público entienda la realidad con el propósito de promover agendas políticas y económicas perversas (Oreskes y Conway, 2010).

Los científicos tenemos la obligación de defender el método científico y la ciencia como nuestra profesión. Pero, más importante aún, tenemos la obligación de pronunciarnos sobre problemas de contenido científico, mucho más aún cuando estos afectan la vida de millones de seres humanos, casi siempre los más pobres, los más marginados y los más olvidados por los gobiernos, tal como es el caso del cambio climático y el calentamiento global. Es necesario pasar de los debates estériles a las acciones; no sólo por la tozuda realidad de los efectos nefastos del cambio climático, porque sus duras consecuencias están afectando la vida y causando sufrimiento a millones de seres humanos en la actualidad, sino porque además está de por medio la vida de nuestros descendientes: un asunto fundamental de ética y justicia intergeneracional. La inacción y la retórica sobre el cambio climático nos acercan cada vez más al umbral cognitivo que causó el colapso de los imperios maya y romano, y de muchas otras grandes civilizaciones en el pasado (Diamond, 2004; Costa, 2010).

Evidencias del cambio climático sobre los recursos hídricos en Colombia

Los efectos del cambio climático y del calentamiento global en relación con el agua se refieren a su doble condición como recurso vital, pero también como amenaza cuando se presentan condiciones extremas (tormentas intensas, crecientes, inundaciones y sequías). Las conclusiones de los reportes ya citados AR4 y SREX del IPCC indican que desde 1951 se ha dado un incremento significativo en el número de eventos extremos de precipitación (tormentas intensas) en más regiones del mundo en comparación con aquellas regiones en donde se ha dado una disminución significativa, con fuertes variaciones regionales en las tendencias. Veamos algunas evidencias en Colombia.

1. Registros históricos. Los glaciares de todos los Andes, incluyendo los de Colombia, están desapareciendo ante nuestros ojos (Ceballos et al., 2006; Poveda y Pineda, 2009). Durante el siglo 20 ocurrió con ocho glaciares de Colombia, y sobreviven solo seis: la Sierra Nevada de Santa Marta, la Sierra Nevada del Cocuy, el Parque de los Nevados (El Ruiz, Santa Isabel, Tolima), y el Huila. Sus tasas de disminución son tan altas que indican su posible desaparición durante los próximos años. Las consecuencias serán muy importantes para la integridad hidrológica y ecosistémica de las cuencas hidrográficas que nacen en los glaciares tropicales, incluyendo los ecosistemas de páramo y humedales alto-Andinos. Este fenómeno, aunado a la alta deforestación de los Andes tropicales, tendrá importantes implicaciones sobre los ecosistemas y sobre el ciclo hidrológico de páramos y bosques de montaña. Los Andes tropicales han sido identificados como el sitio del planeta que más rápidamente está perdiendo su biodiversidad debido a la deforestación (Myers et al., 2000; Poveda et al., 2011). Esto pone en alto riesgo la sostenibilidad de los ecosistemas y la disponibilidad de agua para consumo humano de centenares de poblaciones asentadas sobre los Andes de Colombia, y exacerba la vulnerabilidad a las inundaciones y crecidas de los ríos.

El trabajo de Mesa, Poveda y Carvajal (1997) hace una detallada búsqueda de señales de cambio climático en Colombia. Allí se evidencian cambios estadísticamente significativos durante el período 1960-1995. Se identifican aumentos en las temperaturas medias y mínimas, del orden de $0,1^{\circ}\text{C}$ por año, y del orden de $0,3\%$ por año en los registros de humedad relativa. Se identifican tendencias decrecientes en las series de caudales promedios mensuales, para las principales cuencas hidrográficas del país. Además, se identifican aumentos en la humedad atmosférica y en la evaporación potencial, que es la máxima capacidad de evaporación dado un suministro ilimitado de agua en el sistema suelo-plantas, y que es diferente de la evaporación real, o sea aquella que se da efectivamente dado un cierto contenido limitado de agua en el suelo. Las lluvias no presentan señales claras de cambio climático. De acuerdo con la elevación sobre los Andes, Ochoa y Poveda (2008) muestran que las tendencias decrecientes en los registros de temperatura de punto de rocío, es decir aquella a la cual se condensa el agua atmosférica, así como de otras variables climáticas asociadas, se está presentando en regiones por debajo de 1700m . Así mismo, se han identificado cambios en la fase y la amplitud del ciclo anual y semi-anual de distintas variables climáticas (Pérez et al., 1998), lo cual refleja corrimiento de las temporadas lluviosas dentro del año, con importantes implicaciones en agricultura y en generación de energía hidroeléctrica, para citar solo dos ejemplos.

El trabajo de Poveda, Rave y Mantilla (2001) efectúa un análisis estadístico de tendencias y de homogeneidad de las series de cuantiles de los registros diarios de precipitación. Allí se identificó una tendencia creciente de las intensidades máximas de las lluvias y en muchas series de los caudales máximos anuales de los ríos de Antioquia. En la Figura 1 se presenta la evolución temporal de diversos cuantiles de la función de distribución de probabilidades anuales de los caudales del Río Cauca en La Pintada, Antioquia. Se observa una clara disminución en los valores de los caudales máximos.

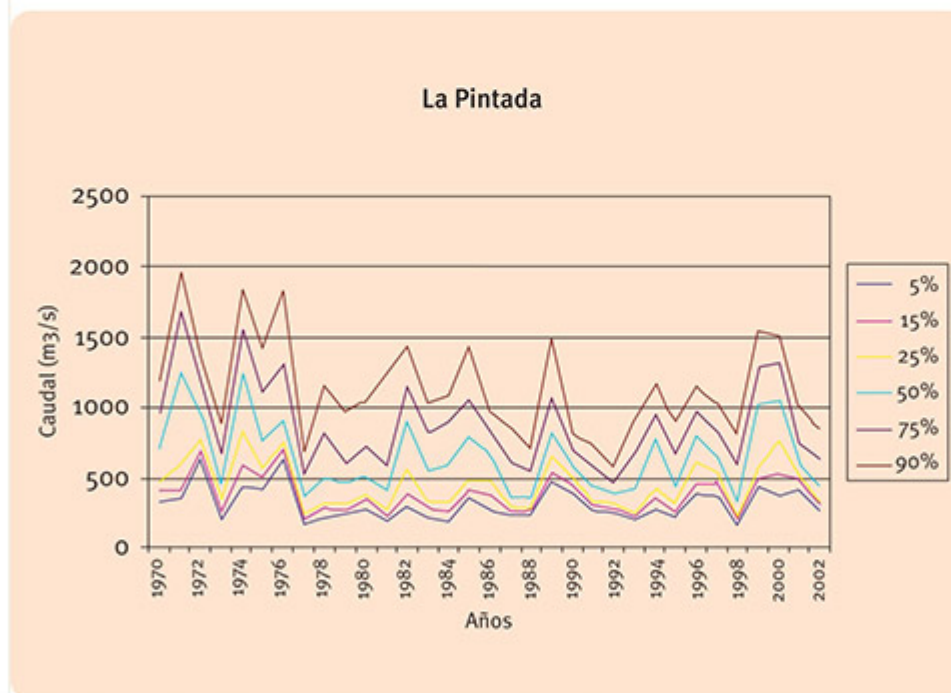


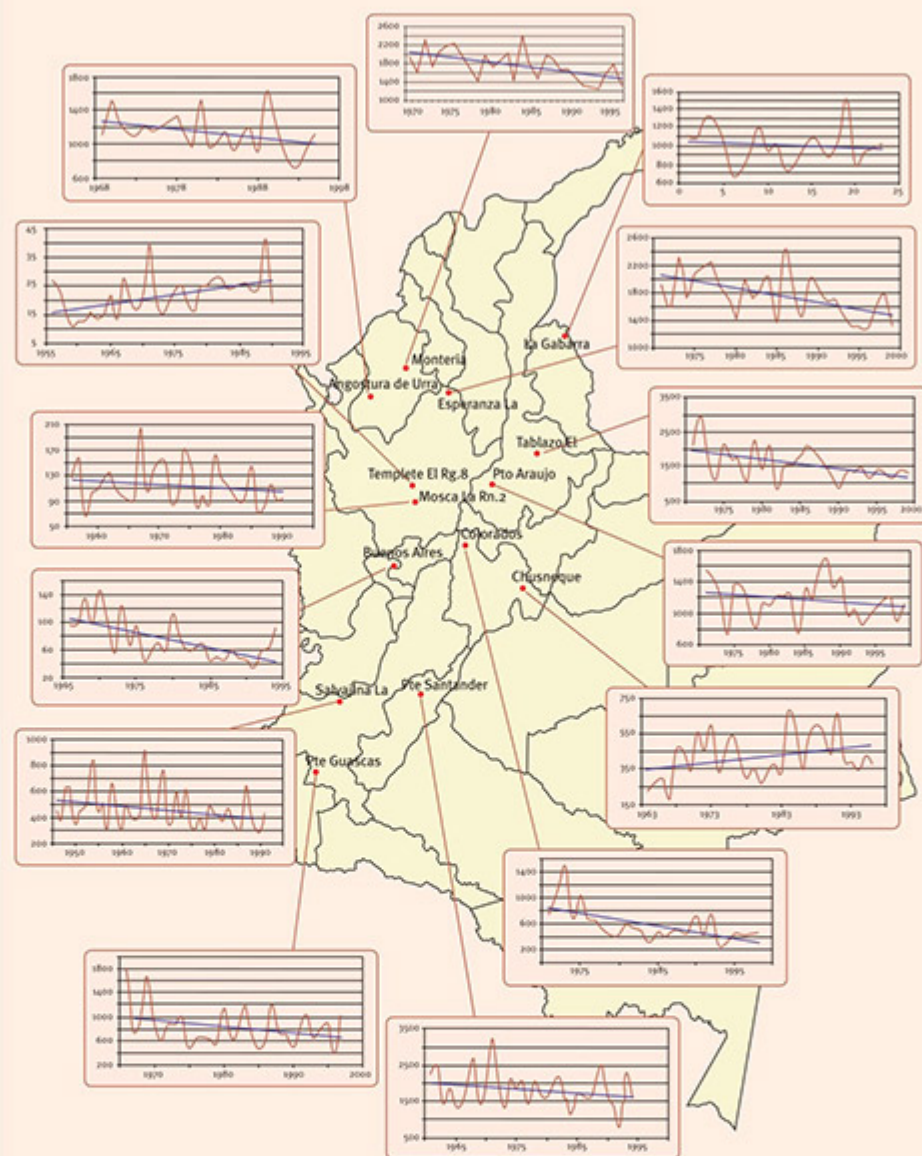
Figura 1.

Evolución de los valores anuales de los caudales con distintos niveles de excedencia para el Río Cauca en La Pintada, Antioquia.

Para el caso de los registros de caudales máximos anuales en los ríos de Colombia, el trabajo de Álvarez (2007) muestra que la mayoría exhiben tendencias decrecientes en series de registros entre 25 y 50 años, tal como se observa en la Figura 2. Esta conclusión pudiera ser resultado de los efectos del cambio climático y la deforestación, pero esta combinación nefasta no ha sido investigada en Colombia, una tarea pendiente para los investigadores colombianos.

Figura 2.

Distribución de diversas series de caudales máximos anuales (en metros cúbicos por segundo) en ríos de Colombia. Nótese que la mayoría de las series exhiben tendencias decrecientes.



También se han detectado cambios en el ciclo diurno de la lluvia en los Andes de Colombia. En la Figura 3 se muestran los valores acumulados de la precipitación en la estación Blonay, para cinco lustros entre 1975 y 1999. Se observa que en las últimas décadas la precipitación ocurre alrededor de las 17 y 18 horas, mientras que hace 30 años ocurría alrededor de las 18 y las 20 horas. Esto es consistente con el cambio climático, pero es necesario profundizar las investigaciones sobre este tema.

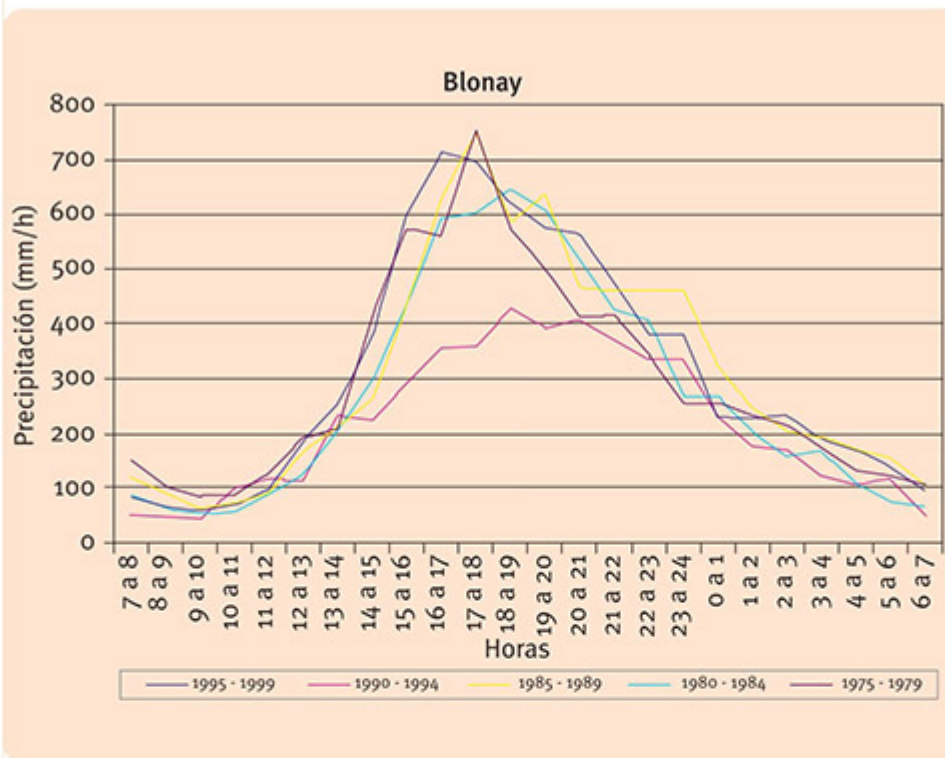


Figura 3. Cambios en el ciclo diurno de la intensidad de las lluvias horarias en la estación Blonay (7° 34'N, 72° 37'O, 1235 m s.n.m) para los cinco lustros entre 1975 y 1999.

El reciente estudio de Carmona y Poveda (2013) demuestra la existencia de tendencias estadísticamente significativas en series extensas (25-50 años) de registros mensuales de lluvias, caudales y temperaturas mínimas en Colombia. Los resultados demuestran que el 62% de las series de caudales medios mensuales exhiben tendencias decrecientes entre $-0,01$ metros cúbicos por segundo (m^3/s) y $-1,92 m^3/s$ por año, las cuales son altamente consistentes a lo largo de las cuencas hidrográficas del país. Ese mismo estudio demuestra que el 87% de las series mensuales de temperatura mínima exhiben tendencias crecientes [$+0,01^{\circ}C$ por año a $0,08^{\circ}C$ por año]. Para las series mensuales de precipitación se evidencia la existencia de tendencias mezcladas, unas crecientes (41%, entre $+0,1$ mm por año a $+7,0$ mm por año), y tendencias decrecientes (44%, entre $-0,1$ mm por año y $-7,4$ mm por año), sin un claro patrón regional, excepto para las tendencias crecientes de los registros mensuales de precipitación en la Costa Pacífica, lo cual resulta consistente con una tendencia creciente en la intensidad de los vientos del Chorro del Chocó, el cual constituye la fuente de la humedad para explicar las copiosas lluvias sobre la Costa Pacífica de Colombia, tal vez el sitio más lluvioso de la Tierra (Poveda y Mesa, 1999, 2000; Poveda et al., 2006).


2. Las predicciones para el siglo XXI. Con muy alta confiabilidad, los modelos climáticos reproducen muy bien los patrones generales de aumento en la temperatura superficial del planeta en la segunda mitad del Siglo XX, incluyendo los enfriamientos que se presentan después de grandes erupciones volcánicas. Sin embargo, todavía hay fuertes incertidumbres en cuanto a la modelación del sistema climático. Por ejemplo, todavía se desconocen aspectos fundamentales de la dinámica de las nubes, así como de la convección atmosférica, un proceso que da origen a la precipitación (particularmente importante en regiones tropicales). Sin embargo, las mayores incertidumbres de los modelos son debidas a los llamados distintos "Escenarios" o "Trayectorias Representativas de Concentración de Gases", las cuales dependen de múltiples variables socio-económicas como el crecimiento de la población, las vías socio-económicas, la tasa de entrada de energías limpias que reemplacen los combustibles fósiles, y el grado de introducción de medidas de adaptación a los efectos del cambio climático.

Reconociendo las incertidumbres existentes, los modelos que predicen el clima de la Tierra para el Siglo XXI han sido analizados para el caso de Colombia en el trabajo de Acevedo y Poveda (2011). Allí se evalúan los cambios futuros en las características de las tormentas más intensas, mediante los resultados de dos Modelos de Circulación Global, denominados CCSM3 de Estados Unidos y ECHAM5 de Alemania. En ese trabajo, los cambios futuros (2046-2065 y 2081-2100) en las características de las lluvias más intensas se expresan en porcentaje en relación con el período 1980-2000, y para los escenarios SRES A2 y B1 del Siglo XXI. Los resultados de Acevedo y Poveda (2011) muestran un cambio hacia una mayor frecuencia de las tormentas más intensas fuertes y una mayor acumulación de las precipitaciones para dichos escenarios de calentamiento global comparado con las simulaciones del clima actual. El escenario de emisiones más elevado SRES A2 para el período 2081-2100 muestra el mayor cambio en la distribución de las precipitaciones en la región del Pacífico para ambos modelos, lo cual sugiere un mayor riesgo de inundaciones repentinas en esta región por el aumento de precipitaciones intensas bajo el escenario SRES A2. Para las demás regiones, el porcentaje de cambio de frecuencia para precipitaciones fuertes se encuentra alrededor de 30% para el escenario SRES A2 periodo 2081-00 y para el periodo 2046-65 alrededor de 20%, excepto para la región Caribe con el modelo CCSM3 que tiene un cambio en la frecuencia de -5% aproximadamente. Para las cinco macro-regiones de Colombia (Caribe, Andina, Pacífica, Orinoquía y Amazonía), los modelos indican aumentos en la frecuencia de las lluvias más intensas, pero una disminución de la frecuencia de lloviznas (precipitaciones ligeras). En esta dirección es necesario profundizar las investigaciones usando Modelos Climáticos Regionales, de mejor resolución espacial que los Modelos de Circulación Global, y con una mejor representación de los procesos hidro-meteorológicos regionales y locales.

Río Magdalena
a la altura del puerto
de Honda - Tolima



El trabajo de Acevedo (2009) estudia los cambios futuros en los caudales promedio y extremos de la cuenca del Río Magdalena empleando los resultados de tales modelos de Circulación Global (CCSM3 y ECHAM5), bajo los escenarios de cambio climático SRES A2 y B1 para dos períodos del Siglo XXI (2046-2065 y 2081-2100), con respecto a un período histórico base (1980-2000). Los resultados de Acevedo (2009) indican que para la cuenca del Río Magdalena ambos modelos predicen tendencias de aumento



en los caudales medios de cuenca, pero difieren en relación con los caudales extremos. El modelo CCSM3 en el escenario SRES A2 señala mayores caudales máximos, y también los menores caudales mínimos anuales (los de sequía), pero mediante el modelo ECHAM5 se obtiene una disminución de los caudales máximos anuales durante el Siglo XXI con respecto al Siglo XX. Es decir que el modelo CCSM3 bajo los escenarios de cambio climático en la cuenca de Río Magdalena señala un intensificación de los caudales extremos y el modelo ECHAM5 una disminución de los mismos. Aunque con el modelo ECHAM5 se espera una disminución de los caudales extremos en el clima futuro, tanto los caudales extremos como los caudales medios de la cuenca del Río Magdalena serían un 30% mayores que los históricos observados en el Siglo XX. Sobre el tema de los caudales medios y extremos (Poveda et al., 2007) es necesario profundizar las investigaciones, más aún considerando los posibles efectos de la deforestación y los cambios en los usos del suelo en Colombia.

El haraquiri de la deforestación

La deforestación y los cambios en los usos del suelo también imponen amenazas y retos fundamentales a la estabilidad e integridad de los ecosistemas por su efecto deletéreo sobre los ciclos de agua, energía y carbono, y porque el recurso agua puede convertirse en un recurso no renovable en el corto plazo por razones de cantidad y calidad (Poveda y Mesa, 1995). Este reto es aún más urgente ante la mencionada fragilidad de los Andes tropicales a causa de la deforestación. En los últimos años las tasas de deforestación en Colombia ascienden a 350.000 hectáreas por año. Tal hecho constituye una amenaza real para el desarrollo (sostenible) del país. Colombia todavía pudiera ser una potencia ambiental mundial en biodiversidad, en términos de los enormes beneficios económicos que se podrían derivar de la explotación sostenible de los productos de sus ecosistemas naturales, y de los servicios ambientales que ellos proveen, pero tales metas están seriamente amenazadas por la deforestación y por la minería de gran escala. Es necesario detener una sinrazón tan colosal.

De la retórica a la acción

El cambio climático inducido por el hombre y sus consecuencias llaman a dar por terminada la retórica y actuar con urgencia para disminuir las amenazas que plantea el cambio climático a los sistemas sociales y a los ecosistemas. Es necesario imponer reducciones sustanciales obligatorias e imponer impuestos a las emisiones de gases de efecto invernadero para comenzar a reducir el calentamiento global, así como preparar y poner en acción los programas, planes y medidas de adaptación para enfrentar los cambios que ya son inevitables.

La comunidad científica tiene allí una responsabilidad fundamental de mejorar el entendimiento del cambio climático y sus impactos. Ello demanda promover la investigación transdisciplinaria entre las ciencias naturales y las ciencias sociales, así como con los diversos sectores implicados, y comunicar ese conocimiento de manera clara y precisa a los tomadores de decisiones y a la sociedad en general.

Con ánimo constructivo, proponemos que se discuta públicamente entre académicos, gobierno, empresa y sociedad civil sobre los impactos del cambio climático en el país.

Proponemos que la discusión comience abordando los siguientes temas:

- ¿Cuáles son las preguntas científicas fundamentales que plantea el cambio climático y la deforestación sobre los recursos hídricos, sobre los ecosistemas, sobre los balances de agua y de energía de los ecosistemas de Colombia? (Poveda y Mesa, 1995).
- ¿Cuáles serán los más probables efectos sobre la ocurrencia de eventos hidrometeorológicos extremos (sequías e inundaciones) en las distintas regiones de Colombia? ¿Cómo impactarán a la sociedad y a los diferentes sectores?

- ¿Cuánto carbono almacenan los distintos ecosistemas de Colombia, desde los desiertos hasta los páramos, pasando por los bosques secos, los bosques húmedos de montaña, los bosques húmedos tropicales, las sabanas de los valles interandinos, la Amazonia y las demás regiones y ecosistemas del país?
- ¿Cuáles son las tasas de evapotranspiración de esos ecosistemas? La evapotranspiración provee un servicio ecosistémico fundamental (enfriamiento de la atmósfera inferior, refrigerando el planeta y contrarrestando los efectos del calentamiento global). Ese servicio ecosistémico debe ser medido y valorado como otro más de nuestros bosques y ecosistemas, diferente al del almacenamiento de carbono.
- ¿Cuáles serán los más probables impactos del cambio climático sobre la salud humana, sobre la producción de alimentos, sobre la generación de energía eléctrica, sobre el turismo, la infraestructura, los asentamientos humanos y otros sectores en Colombia?
- ¿De qué orden (económico, financiero, social y ambiental) son las decisiones que Colombia debe tomar para hacerle frente a las consecuencias del cambio climático y la deforestación? ¿De qué orden son las inversiones en ciencia y tecnología para enfrentar este problema? ¿Cómo se va a enfrentar tal disparidad?
- ¿Cuál es el presupuesto de las entidades encargadas en financiar la investigación científica en Colombia —COLCIENCIAS y todos los Ministerios, así como de los gobiernos regionales y municipales— para financiar investigaciones científicas básicas y aplicadas sobre el tema del cambio climático y la deforestación, y de sus consecuencias en todos los sectores sociales, ambientales, ecológicos y económicos de Colombia?

Referencias

- Acevedo L.A., Poveda, G. (2011), "Construcción y análisis de curvas intensidad-frecuencia-duración (IDF), bajo escenarios de cambio climático en Colombia", *Revista Colombia Amazónica* 3, 11-30.
- Acevedo, L.A. (2009), *Estimación hidrológica bajo escenarios de cambio climático*, Tesis de Maestría en Ingeniería - Recursos Hidráulicos, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- AGU, American Geophysical Union (2013), "Human-induced climate change requires urgent action". Disponible en: http://www.agu.org/sci_pol/pdf/position_statements/AGU_Climate_Statement_new.pdf
- Alvarez, D.M. (2007), *Nuevos enfoques para la estimación de caudales extremos en Colombia*, Tesis de Maestría en Ingeniería - Recursos Hidráulicos, Facultad de Minas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- Anderegg, W.R.L., y co-autores (2010), "Expert credibility in climate change", *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 107(27), 12107–12109.
- Brown, L.R. (2009), PLAN B 4.0. *Mobilizing to Save Civilization*, Norton & Co, New York. Disposición libre en http://www.earth-policy.org/images/uploads/book_files/pb4book.pdf
- Carmona, A.M., Poveda, G. (2013), "Detection of long-term trends in monthly hydro-climatic series of Colombia through Empirical Mode Decomposition", *Climate Change*, en imprenta.
- Ceballos, C. Euscátegui, J. Ramirez, M. Cañón, Huggel, C., Wilfred, H., Machguth, H. (2006), "Fast shrinkage of tropical glaciers in Colombia", *Annals. Glaciology* 43(1), 194-201.
- Costa, R., (2010), *The Watchman's Rattle: Thinking Our Way Out of Extinction*, Vanguard Press, Philadelphia.
- Diamond, J. (2004), *Collapse: How Societies Choose to Fail or Succeed*, Viking Adult, 592 p.
- IPCC (2007), *Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (Eds.), Geneva.
- IPCC (2012), *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*



- [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA.
- Mesa O.J., Poveda, G., Carvajal, L.F. (1997), *Introducción al Clima de Colombia*, Editorial Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Myers, N., Mittermeier, R.A., Mittermeier, C.G., da Fonseca, G.A.B. Kent, J. (2000), "Biodiversity hotspots for conservation priorities", *Nature* 403, 853-858.
- Ochoa, A., Poveda, G. (2008), "Distribución espacial de señales de cambio climático en Colombia". Memorias XXIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Cartagena de Indias, Colombia.
- Oreskes, N., Conway, E.M. (2010), *Merchants of Doubt: How a Handful of Scientists Obscured the Truth on Issues from Tobacco Smoke to Global Warming*, Bloomsbury, New York.
- Pérez, C.A., Poveda, G., Mesa, O.J., Carvajal, L.F., Ochoa, A. (1998), "Evidencias de cambio climático en Colombia: Tendencias y cambios de fase y amplitud de los ciclos anual y semianual", En: *Conséquences climatiques et hydrologiques du phénomène El Niño à l'échelle régionale et locale*, Quito, Noviembre 1997, Bulletin de l'IFEA 27(3), 1998, Lima, 537-546.
- Poveda, G. (2012), "Fin al diletantismo sobre el calentamiento global y su origen antrópico", Conferencia Magistral, *Memorias XXV Congreso Latinoamericano de Hidráulica e Hidrología*, San José, Costa Rica, 9-12 de septiembre.
- Poveda, G., Álvarez, D.M., Rueda, O.A. (2011), "Hydro-climatic variability over the Andes of Colombia associated with ENSO: A review of climatic processes and their impact on one of the Earth's most important biodiversity hotspots", *Climate Dynamics*, 36 (11-12), 2233-2249.
- Poveda, G., Estrada-Restrepo, Ó.A., Morales, J.E., Hernández, Ó.O. Galeano, A., Osorio, S. (2011), "Integrating knowledge and management regarding the climate-malaria linkages in Colombia", *Current Opinion in Environmental Sustainability* 3(6), 448-460.
- Poveda, G., Mesa, O.J. (1995), "Efectos hidrológicos de la deforestación", *Revista Energética* 16, 91-102.
- Poveda, G., Mesa, O.J. (1999), "La corriente de chorro superficial del oeste ("del CHOCÓ") y otras dos corrientes de chorro atmosféricas sobre Colombia: Climatología y variabilidad durante las fases del ENSO", *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 23(89), 517-528.
- Poveda, G., Mesa, O.J. (2000), "On the existence of Lloró (the rainiest locality on Earth): Enhanced ocean-atmosphere-land interaction by a low-level jet", *Geophysical Research Letters* 27(11), 1675-1678.
- Poveda, G., Pineda, K. (2009), "Reassessment of Colombia's tropical glaciers retreat rates: Are they bound to disappear during the 2010-2020 decade?", *Advances in Geosciences* 22, 107-116.
- Poveda, G., Rave, C.R., Mantilla, R.I. (2001), "Tendencias en la distribución de probabilidades de lluvias y caudales en Antioquia", *Meteorología Colombiana*, No. 3, 53-60.
- Poveda, G., Rojas, W. (1997), "Evidencias de la asociación entre brotes epidémicos de malaria en Colombia y el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur", *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, Vol. XXI, No. 81, 421-429.
- Poveda, G., Rojas, W., Vélez, I.D., Quiñones, M.L., Mantilla, R.I., Ruiz, D., Zuluaga, J., Rua, G. (2001), "Coupling between Annual and ENSO timescales in the malaria-climate association in Colombia", *Environmental Health Perspectives* 109, 489-493.
- Poveda, G., Vélez, J.I., Mesa, O.J., y co-autores (2007), "Linking long-term water balances and statistical scaling to estimate river flows along the drainage network of Colombia", *Journal of Hydrologic Engineering* 12(1), 4-13.
- Poveda, G., Waylen, P.R., Pulwarty, R. (2006), "Modern climate variability in northern South America and southern Mesoamerica", *Palaeogeography, Palaeoclimatology, & Palaeoecology* 234, 3-27.
- Showstack, R. (2009), *In Brief: Science academies' statement, On climate change*, EOS Trans. AGU, 90(25), doi:10.1029/2009EO250004.



Hidrología

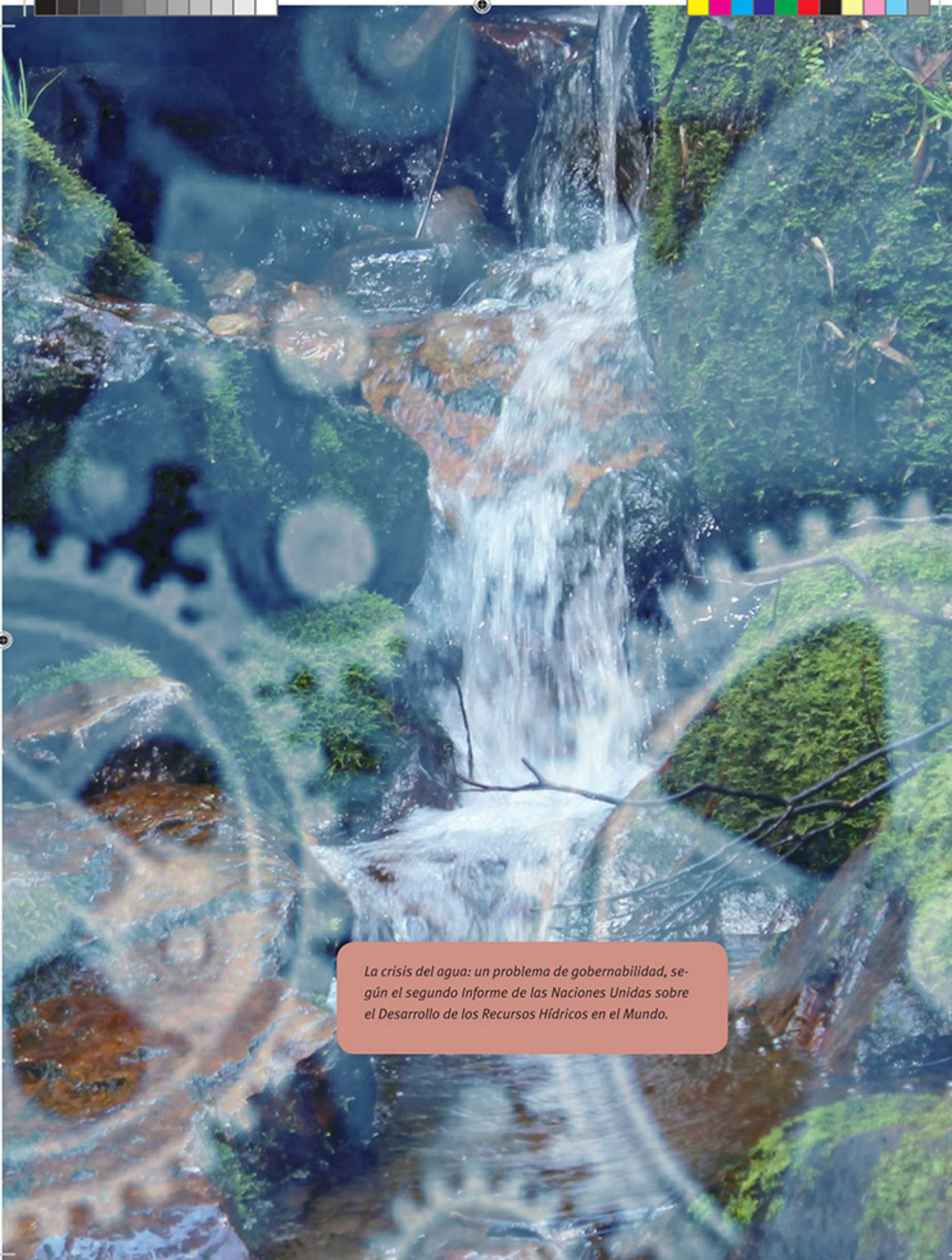
El agua en época de crisis: Colombia

© Alejandro Cassiani Baquero

RODRIGO MARÍN RAMÍREZ

ING. AGRÓLOGO, ESPECIALISTA EN HIDROLOGÍA
GENERAL Y APLICADA.
DOCENTE INVESTIGADOR - UNIVERSIDAD CENTRAL.

rmarinr@ucentral.edu.co



La crisis del agua: un problema de gobernabilidad, según el segundo Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo.



Resumen

En Colombia el recurso hídrico se considera abundante. Sin embargo, se presentan situaciones anómalas en relación con la disponibilidad espacial y temporal del agua superficial, sobre todo en los niveles regional y local. Entre los múltiples factores que reducen la posibilidad de uso y acceso de la población a este recurso y que puede convertirse en riesgo que limita el desarrollo, están los siguientes: a) Concentración de la población y crecimiento de la demanda en regiones donde la oferta hídrica es bien limitada; b) Irregularidad hídrica, como consecuencia del impacto negativo que altera la oferta hídrica natural en cantidad y la distribución espacio-temporal; c) Deterioro de la calidad del agua por contaminación. En consecuencia, la abundancia hídrica del país puede suponerse relativa, puesto que está determinada por limitaciones que la alternancia climática ofrece, y reflejada en los regímenes hídricos característicos de la zona intertropical.

Palabras clave

Disponibilidad hídrica, oferta, demanda, pobreza hídrica, contaminación, necesidades básicas, indicadores, legislación.

Introducción

El planeta, que engloba múltiples y cuantiosas formas de vida e incluye además cerca de 7.000 millones de personas, enfrenta en este inicio de milenio una difícil situación con el agua, relacionada con la escasez creciente, el mercadeo, el aprovechamiento, la competencia, la conservación, la contaminación, y, entre lo más delicado, observar que las tendencias revelan que ese estado crítico se agudiza y se prolonga cada vez con mayor severidad. ¿Será que no se emprenderán acciones enmendadoras para detener ese estado de incertidumbre, angustia y descontrol mundial, regional y hasta local?

Los estudios y seguimientos al respecto muestran que es una crisis que implica gestión, mandato, tarea y disposición de los recursos hídricos, esencialmente originada por la utilización de procesos inadecuados e insostenibles. El infortunio de una real crisis como la actual referencia, son los efectos sobre la existencia y la cotidianidad de empobrecidas poblaciones, que sobrellevan la carga de enfermedades relacionadas con el agua, habitando en entornos degradados y, sobre todo, comunidades en permanente lucha por solventar las necesidades básicas de la alimentación. En efecto, podría decirse que el estado de pobreza de cerca de 416 millones de personas en el mundo, según un informe del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo —PNUD—, es un síntoma y una causa de la crisis del agua.

Con el avance en ciencia y tecnología a nivel mundial se podría pensar que actualmente hay conocimiento, preparación y destreza, necesarios para emprender acciones eficaces y concretas, sin desconocer que igualmente hay óptimas y elaboradas herramientas conceptuales como: justicia, sostenibilidad y sustentabilidad; pero los intereses sesgados de quienes deben tomar decisiones, de un lado, y la ausencia de una sabia conciencia sobre los órdenes de magnitud del problema, por el otro, están desencadenando vacíos en las adecuadas y oportunas medidas de corrección requeridas con prioridad. Generalmente la escasez en la crisis del agua no se origina en la disponibilidad física, sino en las relaciones desiguales de poder y en la pobreza.

Contexto global – Estructurando el ambiente desde 1972

Muchos interrogantes sobre la temática del agua han generado en las últimas décadas un espacio de discusión en el concierto internacional. Pero a través de la historia de la humanidad, solventar los problemas por el uso del agua a nivel global ha reclamado mucho tiempo, procurando que pueblos y comunidades enteras lleguen a acuerdos e intenciones de preciso seguimiento en la obtención de resultados exitosos y, de esta manera, asegurar la protección de dicho recurso.

En virtud de lo anterior, la comunidad interesada en los asuntos del ambiente ha realizado una serie de reuniones y conferencias para enfrentar el problema de la llamada crisis del agua, donde se han consensuado una serie de principios y declaratorias para guiar nuevas relaciones entre Agua-Ambiente-Sociedad, pretendiendo que el recurso se utilice de manera sostenible. Entre ellas se destacan Estocolmo 1972 – Suecia, primera gran Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Humano que marcó un punto de inflexión en el desarrollo de la política internacional del medio ambiente. En esencia con el principio dos (2) de la declaratoria se hizo la siguiente reflexión:

Los recursos naturales como el suelo, el agua, el aire, la flora y la fauna deben ser preservados para el beneficio de las generaciones presentes y futuras mediante una cuidadosa planificación u ordenación, según convenga (Naciones Unidas, 1972, Cap. 1).



Es claro el reconocimiento sobre la importancia del medio humano natural y artificial para el ejercicio de los derechos humanos fundamentales, igualmente la prioridad en la protección y mejoramiento del medio humano como una pretensión de los pueblos y un deber de los Gobiernos.

Veinte años después se celebra la conferencia de Dublín 1992 - Irlanda, cuyo principal objetivo era alcanzar el desarrollo sostenible, reconociendo el derecho de los seres humanos a una vida saludable y productiva en armonía con la naturaleza, así como el derecho soberano de los Estados para aprovechar los recursos naturales, haciendo explícita la responsabilidad de los mismos de velar por la conservación del medio ambiente, en el sentido de evitar que las actividades que se realizan bajo su jurisdicción o control causen daño al medio ambiente de otros Estados o en áreas fuera de cualquier jurisdicción nacional. Se puede decir que el tiempo transcurrido es insignificante dentro de un contexto geo-ambiental, para registrar el evento como un hecho trascendental y significativo en materia de recursos hídricos y la actual crisis mundial del agua, y además cuando al final de la declaración más de un centenar de países reconocieron que:

- a) El agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente, y
- b) El desarrollo y la gestión del agua deben basarse en enfoques de participación, involucrando a usuarios, planificadores, y responsables de las decisiones a todo nivel.

Tomando en consideración los principios dos y tres de dicha declaración, ha sido necesario re-adaptarlos permanentemente a la cotidianidad en los inicios y con prioridad en comunidades pobres y aisladas. Sin duda para esas comunidades el agua es tan indispensable como la misma vida. La problemática del agua podría considerarse hoy como una de las múltiples crisis de los pobres.

Una gestión eficaz de los recursos hídricos debe requerir un enfoque integrado que convenga con el desarrollo social y económico y la misma protección de los ecosistemas, planteamiento que igualmente supone decisiones que habrían de adoptarse a un nivel más elemental y apropiado y priorizando la participación de los usuarios y líderes en la planificación y ejecución de los proyectos (Naciones Unidas, 1992).

Una vez transcurrida la Cumbre de Dublín, surge de nuevo la necesidad de un consenso sobre los acuerdos y los resultados en ese pequeño lapso de tiempo. Es el período de la evaluación y la seguridad de las nuevas tendencias observadas en el mundo. La Cumbre de Río 1992 – Brasil marca una pauta y una nueva trayectoria a seguir en el mundo, conocida como La Agenda 21, donde se pudieron destacar entre otros los siguientes principios:

- a) Asegurar la gestión y el desarrollo integrados de los recursos hídricos
- b) Proteger la calidad del recurso hídrico y de los ecosistemas acuáticos y
- c) Gestionar los recursos hídricos para la producción y el desarrollo sostenible de alimentos (PNUD, 1992).

“En razón del continuo deterioro de los recursos naturales, el estado continúa ajustando las normas a fin de reducir nuevos daños ambientales...”

Sin embargo la Cumbre de Río+20 2012 – Brasil, inicia sesiones de trabajo con fuertes presiones impuestas por una situación mundial más difícil, todo ello originado por el deterioro ambiental que no cede, especialmente el cambio climático. Ya son notorios los grandes problemas de gobernanza ambiental, reconociendo el tema ambiental transversal a todo, este funciona muy fragmentado en los niveles global y nacional.

Como puede observarse, solamente dos décadas es el lapso entre Río-92 y Río+20, sin embargo toda una serie de importantes sucesos han afectado las agendas de estos foros. El más significativo de ellos representado en el 26% de incremento en la población mundial, llegando a rebasar los siete mil millones de habitantes en 2011 y el 50% de concentración de la población en las grandes ciudades, las megalópolis que pasaron de 10 en 1992 a 21 en 2012. Como puede apreciarse, la conferencia de Estocolmo en 1972 dio relevancia global al tema ambiental, que vino a ser más conocido por la comunidad en general.

Finalmente, la declaración de Bonn sobre seguridad global del agua establece nuevas pautas en el análisis. Es precisamente cuando los científicos, impacientados, continúan buscando esquemas de estímulo a políticos, la ciencia y la población en general sobre la incertidumbre del agua. Al observar la inadecuada gestión global del recurso hídrico y el modelo de explotación, se acepta que dichos aspectos hayan permitido el nivel de vida actual de numerosos países.

En efecto con la Declaración de Bonn 2013-Alemania, bajo el título de *Agua en el Antropoceno*, el mundo científico analizó una serie de resultados producto de varios años de investigación alrededor del ciclo hidrológico y las perturbaciones que la humanidad ha provocado en las reservas hídricas del planeta, como para repasar al unísono que...

En el breve lapso de una o dos generaciones, la mayoría de los 9 mil millones de personas en la Tierra vivirán con la desventaja de una severa presión sobre el agua dulce, un recurso natural indispensable para el que no hay sustituto. Este obstáculo es auto-infligido y, a nuestro juicio, totalmente evitable (IIEH, 2013).

La investigación llevada a cabo por el Proyecto del Sistema Global de Agua (GWSP) ha producido diferentes resultados de importancia que conducen a un mejor entendimiento global del agua dulce últimamente, por ejemplo:

En una época de desafíos inminentes al agua, persiste el problema de la realización del monitoreo ambiental y social necesario para lograr un cuadro preciso del estado del agua. Necesitamos conocer la disponibilidad, la condición y el uso del agua como parte de un sistema global mediante vigilancia ambiental sostenida. La historia nos enseña que no obtener esta información básica resultaría caro y peligroso (GWSP).

Este contexto agita a la comunidad del agua reunida en Bonn para la conferencia GWSP "Agua en el Antropoceno" hasta concebir recomendaciones fundamentales a instituciones y a estudiosos de la ciencia, al gobierno, la administración y en general la toma de decisiones pertinentes a los recursos de agua, y por lo tanto se considera imprescindible...

Renovar el compromiso de adoptar un enfoque interdisciplinario y de escala múltiple a la ciencia del agua, para entender la naturaleza compleja e interrelacionada del sistema global de agua y de cómo puede cambiar hoy y en el futuro (GWSP).

Analizando todas las reuniones no ha interesado hasta hoy si se es investigador, líder, administrador, político, proveedor de servicio ó consumidor. Todos tienen igual responsabilidad a la hora de mitigar la crisis del agua y de contribuir a proveer soluciones. Ante múltiples causas —agotamiento de acuíferos, débil gobernabilidad, baja productividad del agua en la agricultura o cambios climáticos—, la problemática concierne al mismo escaso recurso: el agua.



Marco Legal Nacional

La legislación ambiental colombiana ha tenido un significativo perfeccionamiento en las últimas décadas, especialmente a partir de referentes externos como la Convención de Estocolmo (1972), cuyos principios se acogieron en el Decreto Ley 2811/74 —anteriormente Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente—, fundamentado en el principio de que el ambiente es patrimonio común de la humanidad y necesario para la supervivencia y el desarrollo económico y social de los poblados. Como tal sus objetivos desde el inicio eran:

- a) Preservar y restaurar el ambiente y conservar, mejorar y utilizar de manera racional los recursos naturales renovables, con criterios de equidad, disponibilidad permanente y máxima participación social, para beneficio de la salud y el bienestar de los presentes y futuros pobladores del territorio nacional;
- b) Prevenir y ejercer control sobre los efectos nocivos de la explotación de los recursos naturales no renovables sobre los demás recursos;
- c) Regular la conducta humana, individual o colectiva, y la actividad de la administración pública, respecto del ambiente y de los recursos naturales renovables (IavH et al., 2011).

Estos principios se han propagado gracias a la Ley 99/93, donde se continuaron incorporando los principios de las Declaraciones de Estocolmo (1972) y de Río (1992) (Cardona, 2003).

Luego, en 1991, a partir del nuevo enfoque de la Constitución Política colombiana, se reestructuró la protección del medio ambiente, convirtiéndola en derecho colectivo y confiriéndole mecanismos de protección por parte de la comunidad (acciones populares, uso de las acciones de tutela y de preciso cumplimiento de la ley). Esta nueva carta política de 1991 establece en su artículo 80 que “El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución”.

En desarrollo de nuevos cánones constitucionales, y de acuerdo con la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Río de Janeiro - Brasil (1992), se expidió la Ley 99/93, que conformó el Sistema Nacional Ambiental (SINA) y creó el Ministerio del Medio Ambiente como su ente rector (hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible).

La Ley 99, en su Artículo primero, determina que dentro de los principios generales: “el proceso de desarrollo económico y social del país se orientará según los principios universales y del desarrollo sostenible contenidos en la Declaración de Río de Janeiro de junio de 1992 sobre Medio Ambiente y Desarrollo”. De igual forma, el Artículo 2º establece “Créase el Ministerio del Medio Ambiente como organismo rector de la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales renovables... a fin de asegurar el desarrollo sostenible”.

En razón del continuo deterioro de los recursos naturales, el estado continúa ajustando las normas a fin de reducir nuevos daños ambientales, por lo tanto, con la promulgación de la ley 373 de 1997, se incorpora un programa obligatorio para el Uso Eficiente y Ahorro del Agua de las Regiones y Localidades, entendiéndose como un conjunto de proyectos y acciones que deben elaborar y adoptar las entidades encargadas de la prestación de los servicios de acueducto, alcantarillado, riego y drenaje, producción hidroeléctrica y demás usuarios del recurso hídrico. Por lo tanto, hacer un uso eficiente del agua implica el desarrollo de tecnologías y prácticas mejoradas que proporcionen igual o mejores servicios con menos agua sobre todo en regiones con un marcado incremento de la población, lo cual lleva a una producción de servicios con mayor celeridad.

Desde otro ángulo, con la actual Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico, ésta adoptó la cuenca como unidad de gestión fundamental para la planificación y gestión integral y descentralizada del suelo, flora, fauna y agua. En este sentido, y dando alcance al Decreto 1729 de 2002 de Ordenación de Cuencas Hidrográficas, en general, las cuencas susceptibles de ordenación y manejo serán el resultado de la evaluación de los siguientes factores y parámetros, entre otros que permitan identificar:

- Degradación de las aguas y/o de los suelos.
- Amenazas que afecten los servicios ecosistémicos de la cuenca.
- Riesgos ambientales de ecosistemas marino - costeros asociados a la cuenca hidrográfica.
- Existencia de oferta hídrica superficial y potencial hidrogeológico.

En tal sentido, lograr una adecuada aplicación de la normativa referente a la priorización de cuencas requiere de un referente nacional a nivel de Sub-zona hidrográfica, que permita establecer áreas prioritarias para el ordenamiento de cuencas hidrográficas e identificar los puntos críticos en cuanto a problemas ambientales (Colombia, IDEAM, 2011).

Agua en Colombia

Colombia indudablemente es reconocida como una de las naciones con mayor riqueza en recursos hídricos en el mundo, y hasta hace poco no se consideraba que tuviera problemas significativos de disponibilidad de agua para el abastecimiento y cubrimiento de las necesidades de la población, los ecosistemas y la economía. Debido al incremento progresivo de la demanda hídrica con altas presiones, en todo el país

—y en especial en regiones como la Andina y Caribe, donde la oferta no está distribuida homogéneamente— el uso poco eficiente del agua, la epidemia de la deforestación, la ausencia casi total de tratamiento de aguas residuales, la escasa y no integral gestión de cuencas y sistemas hídricos, han hecho que en un número cada vez mayor de municipios del país sean evidentes los problemas de disponibilidad de este recurso para el abastecimiento, y por lo tanto se originen restricciones para ciertos usos por alteraciones de la calidad, afectando de esta manera la calidad de vida y el bienestar de la población allí asentada, véase figuras 1A, 1B, 1C y 1D.

Figura 1.

Los recursos hídricos de Colombia. 1A, agua atmosférica; 1B, agua superficial; 1C, agua subterránea; y 1D, agua oceánica y marina.



Los estimativos, basados en la evaluación de los rendimientos hídricos en las cuencas hidrográficas, hacen evidente la dimensión de la oferta de agua en el país con un valor promedio de 45.000 metros cúbicos anuales por habitante. El promedio mundial es de 7.000 metros cúbicos anuales por habitante.

En cuanto a la oferta neta, en la cual se incorporan reducciones tanto por alteración de la calidad como por regulación hídrica natural, la disponibilidad de agua alcanza un valor de 34.000 metros cúbicos por persona al año y en condiciones de año seco esta disponibilidad se reduce aún más hasta llegar a 26.700 metros cúbicos al año por persona.

Sin embargo, los procesos de desarrollo y de planificación del país, y en particular de sus regiones, no han considerado la importancia de la oferta de agua, lo que ha incrementado el grado de fragilidad de los sistemas hídricos respecto a la disponibilidad de agua de las fuentes que soportan el abastecimiento de agua para la población y las respectivas actividades económicas. Estos desarrollos se han concentrado en cuencas donde los rendimientos hídricos son menores comparativamente con los de otras áreas, por ejemplo la cuenca del Magdalena y la de sus más importantes afluentes, igualmente sistemas hídricos que drenan al Caribe (región Caribe).

En cuanto a la situación actual del agua, se presentan serias señales de preocupación en las regiones más secas del país como la Andina, Caribe y aún en las regiones extra-andinas con mejores condiciones en cuanto a disponibilidad de agua, incluso de alarma creciente en algunos municipios y áreas urbanas. Los grandes asentamientos humanos y los polos de desarrollo industrial, agrícola, pecuario e hidroenergético, entre otros, se han desarrollado en dichas regiones, aun cuando hay menor oferta hídrica. Situación que es crítica, puesto que los asentamientos urbanos de los municipios se abastecen de fuentes muy pequeñas, de alta vulnerabilidad, como arroyos, quebradas y riachuelos, que no cuentan con sistemas adecuados de almacenamiento, lo cual hace que una buena parte de la población y su abastecimiento de agua sea altamente

“Si bien se reconoce la riqueza hídrica nacional, este enorme potencial se restringe en su aprovechamiento por la confluencia de múltiples factores de régimen natural...”

vulnerable; en especial cuando ocurren condiciones climáticas extremas, en épocas secas y presencia de fenómenos como el fenómeno cálido del Pacífico "El Niño" y en general en las estaciones secas.

Se observa igualmente que la oferta hídrica experimenta una reducción progresiva en el tiempo, debido a las limitaciones para diferentes usos, en especial para el consumo humano, generado por la alteración de la calidad del agua, producida por las actividades domésticas, socioeconómicas e industriales, que generalmente vierten a los cauces sus efluentes sin tratamiento previo. Adicionalmente, esta oferta se ve afectada en muchos casos por los altos volúmenes de sedimentos depositados en las corrientes de agua originados por procesos de erosión natural o por la acción antrópica.

Riqueza hídrica sin control

Si bien se reconoce la riqueza hídrica nacional, tanto en la distribución espacial como temporal, este enorme potencial se restringe en su aprovechamiento por la confluencia de múltiples factores de régimen natural, tales como:

Los fenómenos de variabilidad climática y cambio climático. Últimamente, múltiples estudios reportan el incremento de la frecuencia e intensidad de fenómenos extremos de variabilidad climática a nivel global. Argumentándose que, a partir de múltiples desastres asociados con fenómenos hidrometeorológicos, el mundo ha empezado a enfrentar nuevos escenarios de riesgo y clima y Colombia no ha sido ajena a dichos cambios dramáticos del clima global. Por lo tanto los efectos del fenómeno El Niño sobre los caudales de las corrientes de agua en la zona Andina, no son despreciables con reducciones en promedio del 42% y el Caribe con disminuciones de mayor afectación de caudal hasta el 55%, de manera que resultan particularmente severas las anomalías en varios de los sistemas hídricos en dichas regiones.



Entre los indicadores de régimen natural, que obstaculizan el aprovechamiento del agua en determinadas regiones del país, se puede considerar el Índice de Aridez - Resultado del balance hídrico, estimado como una característica cualitativa del clima, que muestra en mayor o menor grado la insuficiencia de los volúmenes precipitados para mantener la vegetación; por esta circunstancia suele llamársele también 'déficit de agua' (Colombia, IDEAM, 1998), véase figura 2A.

La regulación hídrica natural. Evalúa la capacidad de la cuenca hidrográfica para mantener un régimen de caudales, producto de la interacción del sistema suelo-vegetación con las condiciones climáticas y con las características físicas y morfométricas. Una regulación natural baja, como se presenta en el país, afecta la sostenibilidad y regeneración de las fuentes hídricas, situación que pone en alto riesgo de vulnerabilidad el abastecimiento futuro del recurso. En general un porcentaje mayor del 50% de la población está en un nivel de regulación natural bajo a muy bajo (Colombia, IDEAM, 1998), véase figura 2B.

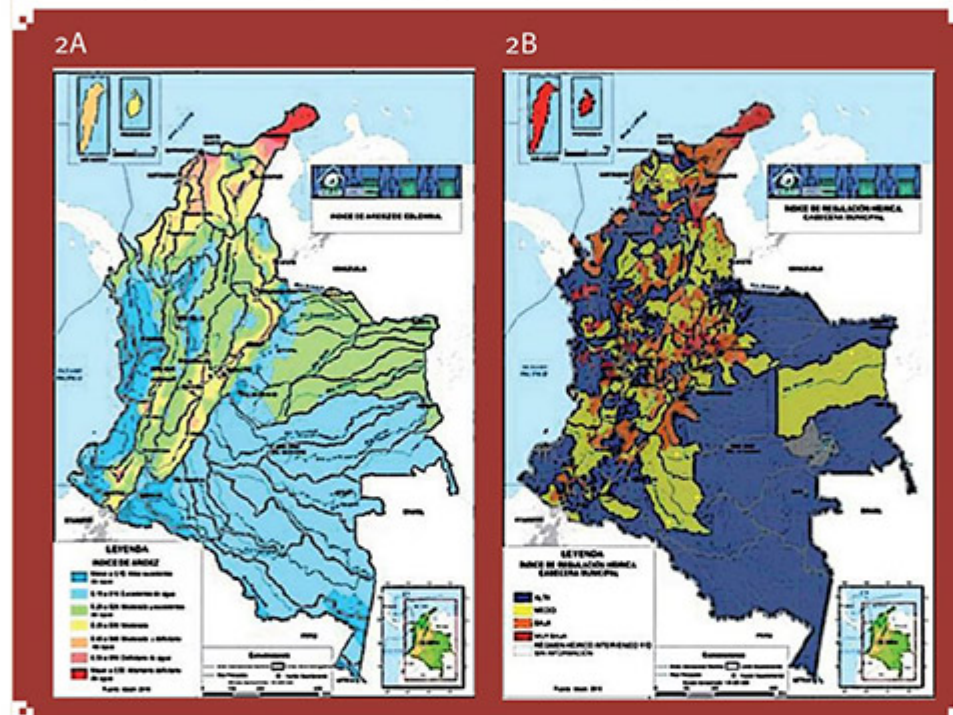


Figura 2.

Los límites de la oferta hídrica en Colombia. 2A, Índice de aridez.; 2B, índice de regulación hídrica.

Finalmente, las acciones antrópicas, que han generado efectos en los componentes del ciclo hidrológico y, en especial, sobre la calidad del agua por la incorporación de residuos a las fuentes abastecedoras. Igualmente afectaciones en buena medida por los patrones de aprovechamiento, caracterizados por mecanismos de uso poco eficientes del recurso.

Por lo tanto decir que el agua escasea o está en peligro de acabarse en un país rico en recursos hídricos, con precipitaciones anuales de más de 3.000 milímetros —el promedio mundial es de 900— y cinco grandes vertientes hidrográficas, parece inadmisibles. Sin embargo, informes de la Contraloría Delegada para el Medio Ambiente sostienen que, pese a estas condiciones, Colombia enfrenta graves problemas para garantizar la sostenibilidad del agua y que el futuro será incierto para un alto porcentaje de colombianos que podrían estar en riesgo de desabastecimiento, especialmente en años hidrológicamente secos.

Considerando lo anterior, se deduce que el problema es aún más difícil, pues no solo hay una disminución de las fuentes hídricas superficiales como consecuencia de la deforestación, el deterioro del suelo, la mala disposición de residuos y la falta de planificación, sino que la reserva de agua subterránea está en igual situación. Según el informe, es preocupante el uso generalizado de esa reserva que ocupa más de 400 mil kilómetros cuadrados: el sector agrícola consume el 80 por ciento y menos del 10% sectores como el doméstico e industrial.

Pequeñas fuentes de abastecimiento e Indicadores hídricos de riesgo

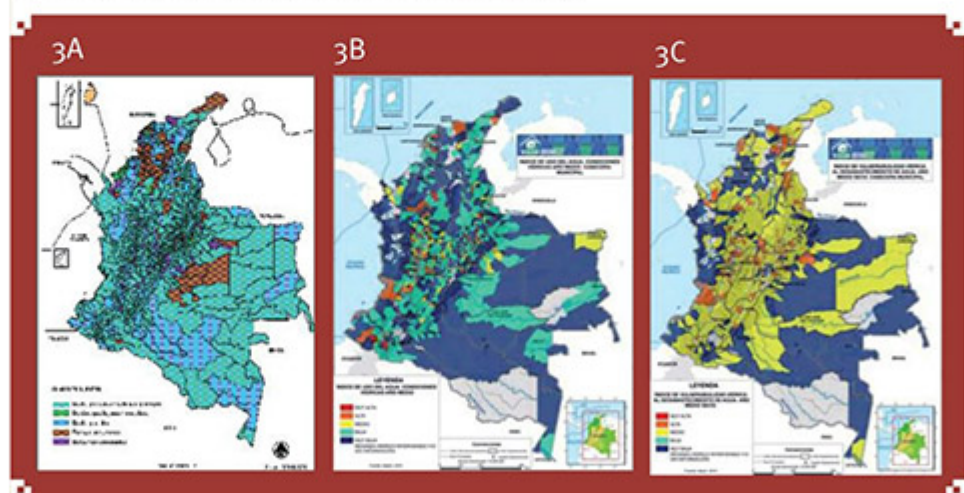
El sistema global de abastecimiento de agua en Colombia en esencia es bien crítico, puesto que las fuentes de agua de por sí son pequeñas. Este escenario muestra una cobertura nacional del 80%, situación que alarma a los encargados de la planificación del recurso hídrico, en las zonas Andina y Caribe para las épocas de reducción de la lluvia, véase figura 3A.

Por lo tanto el análisis de oferta y demanda de agua no podría realizarse en forma independiente del índice de uso del agua, el cual mide precisamente la relación de la demanda y oferta de agua en condiciones hidrológicas de año seco con la finalidad de determinar en qué regiones la oferta hídrica no alcanza para satisfacer la demanda para los diferentes usos socioeconómicos. La distribución espacial del *índice de uso del agua* muestra en la figura 3B que, en el año seco, este índice afecta las cabeceras municipales en las categorías Muy Alto, Alto y Medio, lo cual involucra aproximadamente a una población cercana a 16 millones de habitantes, que representa un 44% de 246 cabeceras municipales. Esta situación se presenta generalmente en las regiones Andina y Caribe. Lo cual obliga a implementar programas de ordenamiento y manejo de cuencas en las regiones señaladas, toda vez que estas reflejan situaciones críticas de abastecimiento, ante todo para el sector doméstico.

El *índice de vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico* muestra la fragilidad del sistema hídrico colombiano para mantener una disponibilidad apropiada de agua según la demanda del recurso, que a nivel nacional es preocupante para más de 16 millones de personas. Esto es, un 44% de la población nacional de 500 cabeceras municipales estaría en un grado alto de vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico. Como se puede apreciar en la figura 3C, sobresalen las regiones Andina y Caribe en las categorías Muy Alta, Alta y Media, de las cabeceras municipales.

El análisis del índice de uso del agua y de vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico permite afirmar que las regiones Andina y Caribe son las más vulnerables en el país. Esta situación se agravará hacia el futuro próximo, toda vez que la oferta hídrica será reducida por la contaminación, mientras que la demanda continuará en ascenso. A este panorama se suma la ausencia de medidas adecuadas sobre el manejo y ordenamiento de las cuencas ubicadas en estas dos regiones.

Figura 3.
Panorama de la crisis regional en Colombia. 3A, cuencas abastecedoras; 3B, índice de uso del agua; y 3C, índice de vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico.



Situación crítica de los recursos hídricos: escenarios

La crisis del agua se puede medir desde diferentes ángulos en la esfera global, crisis que parece acentuarse en la medida en que se visualizan los niveles regionales y locales. El recurso hídrico es estable y abun-



dante en teoría, pero desigualmente distribuido. Un estado de crecimiento económico significa pues, en realidad, más de un punto de crecimiento del consumo del agua, por lo tanto una auténtica gestión será una dinámica prioritaria para lograr desarrollos plenos en toda sociedad, que apunten a minimizar los verdaderos escenarios de crisis o procurar al menos una acción más sustentada, tal como se representan a continuación.



Análisis crítico de la gestión. La gestión de los recursos hídricos en el país, aquí descrita, es la ganancia de sendos análisis sobre evaluaciones obtenidas por el Estado, experiencias recogidas por investigadores sobre la definición y el esclarecimiento de políticas, como también del afinamiento de programas y proyectos en el tema del agua. Por lo tanto, en el consenso general, es la prevalencia de múltiples factores que frenan la adecuada gestión sustentable del agua, que permiten un mayor análisis desde otras miradas: Una compleja cultura del agua; Una estructura jerárquica débil ambientalmente hablando; Unas políticas de corto plazo desarrolladas en el tema del agua.

Visión: Escenario de crisis. Según el DANE, la proyección de la población nacional continúa desde el 2000 con las mismas tasas de crecimiento, lo cual implica que con similares patrones de consumo actual y futuro (agua industrial, servicios públicos, entre otros), podría presentarse una oferta hídrica permanentemente más reducida.

Según el Estudio Nacional del Agua 2010, IDEAM, hay aproximadamente 157 municipios con un 35% de la población urbana del país, equivalente a 12,6 millones de habitantes, afectados por un índice de uso del agua mayor del 20%, para la condición hidrológica de año medio (situación clara de acuerdo con UNESCO, para emprender prioritariamente planes de ordenamiento territorial en aquellas cuencas y territorios mayormente afectados).

De acuerdo con el estudio, la relación de la demanda de agua con respecto a la oferta disponible para condiciones de año seco, muestra que la población afectada por posibles condiciones críticas involucraría a 16 millones de habitantes de 246 municipios, lo cual sería una situación de riesgo, puesto que esto equivale a un 22% de las cabeceras municipales en delicada situación por abastecimiento de agua.

Igualmente se identifican cerca de 480 municipios dentro de las categorías Media, Alta y Muy Alta con relación al índice de vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico superficial para un año hidrológico medio, que involucra una población aproximada de 12 millones de habitantes. En ese sentido la vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico en las categorías de Medio a Alto se extiende a 500 municipios aproximadamente en condición hidrológica de año seco, alcanzando una población de 16 millones de habitantes.

Visión: Escenarios sustentables. Los auténticos cambios se lograrían a partir de nuevos enfoques desde el alto gobierno y como una verdadera política de estado; replantear el modelo educativo centrado en recuperar los valores del individuo, entre ellos los éticos y morales, que puedan proporcionar un mejor entendimiento en cuanto a la organización gubernamental, las reformas institucionales y en general la manera de participación del sector privado. Además de las siguientes consideraciones para un desarrollo posible, que podría esperarse de acuerdo con la solución de los siguientes aspectos:

- Restablecer prioritariamente la paz, dentro de un contexto socioeconómico justo y equitativo.
- Fortalecer la cooperación internacional (financiación, mercado, tecnología).
- Participación solidaria de todos los estamentos de la sociedad.

Conclusiones

Las cifras del agua en Colombia continúan mostrando niveles importantes, representadas en una oferta superior a los 2.100 km³/año (59 l/s*km²), equivalentes a un volumen disponible por habitante de 45.000 m³/año, que podrían verse afectadas y notablemente relativizadas por la heterogeneidad en su distribución espacial y temporal.

“El recurso hídrico es estable y abundante en teoría, pero desigualmente distribuido.”

Los análisis efectuados a partir de los *índices de uso del agua y de vulnerabilidad por desabastecimiento hídrico* revelan tendencias preocupantes actualmente, y no sostenibles en el abastecimiento de agua para las comunidades asentadas en el centro del país, particularmente en regiones de alta presión como la Andina y la Caribe, en contraste con la Pacífica, Orinoquia y Amazonia que, aunque toleran alguna presión por el recurso hídrico, cuentan con un alivio, dado por la cercanía de sistemas hídricos de gran tamaño y bajas densidades de población.

Los citados índices, en el caso de no adelantar programas de ordenamiento en cuencas abastecedoras, conservación y tratamiento del uso de las aguas servidas, señalan la tendencia, en un horizonte mayor de una década, en la que el país podría enfrentar un panorama de alta fragilidad para atender la demanda de agua por las distintas actividades socioeconómicas.

Estas proyecciones muestran que, en ausencia de tales medidas, cerca del 70% de la población se encontraría en riesgo de un desabastecimiento severo bajo este escenario, y tomando en cuenta que evaluaciones previas han demostrado que el 80% de las fuentes abastecedoras del país pertenecen a pequeñas cuencas, con baja capacidad de almacenamiento como de autodepuración natural, advirtiendo gran presión antrópica.

Perspectivas ante la crisis

Perspectivas que superen la crisis del agua permiten visualizar mejores horizontes, que suponen importantes logros en el nivel de vida de la comunidad, lo cual podría conseguirse optimizando los siguientes aspectos:

- Mejorar las actuales prácticas de utilización del agua a fin de reducir la contaminación, lo cual incrementará la disponibilidad, evitará el riesgo de conflicto y en general toda posibilidad de crisis.
- Controlar la demanda de agua reduciría la competencia por el uso del recurso entre los distintos sectores usuarios.



- Asegurar mayor disponibilidad de agua, controlando la concentración de los vertimientos y residuos a las fuentes de abastecimiento.
- Planificar la reducción de tamaño y concentración de la población en las zonas urbanizadas.
- Procurar menor probabilidad de escasez de agua y reducción de la vulnerabilidad de los sistemas hídricos, para garantizar el régimen hidrológico, la distribución espacial y la variación temporal.
- Facilitar el acceso al recurso y reducir los costos de su disponibilidad.

Desafíos frente a la crisis

Resolver la crisis del agua es, sin embargo, sólo uno de los diversos desafíos con los que la humanidad se enfrenta en este tercer milenio.

Tercer foro mundial del agua, Kyoto 2003.

La escasez de agua constituye el desafío del siglo XXI, al que se enfrenta hoy la sociedad. El siglo pasado se caracterizó por un incremento del consumo de agua a un ritmo doblemente superior comparado con la tasa de crecimiento de la población y, sin querer establecer niveles críticos de escasez planetaria, sí son considerables las regiones en situación crítica de agua. Luego, pensar en resolver la crisis necesariamente implica desarrollar modelos direccionados por un lado hacia la comunidad y por el otro hacia la gobernanza:

Desafíos frente a la vida y al bienestar de las comunidades:

- Necesidades básicas satisfechas.
- Ampliar conocimientos sobre protección de ecosistemas.
- Entornos urbanos eficientes.
- Seguridad alimentaria en poblaciones crecientes.
- Incrementar una industria más limpia.

Desafíos en el ámbito de la gestión pública:

- Enfrentar la incertidumbre con firmeza.
- Mayor equidad en el reparto del agua.
- Valorar las múltiples facetas del agua.
- Producir y difundir el conocimiento básico del agua.
- Administrar responsablemente el agua.

Reflexiones ante la crisis

Podría decirse que nunca antes la crisis del agua que hoy enfrenta la humanidad había tenido una dimensión íntimamente global y regional. Por lo tanto abordar una situación de escasez de agua en Colombia, contaminación de sus ríos, un potencial cambio climático, insuficiencia alimentaria y carestía energética regional, son verdaderos retos que por su naturaleza misma requieren de acciones prioritarias y colectivas. Entre los múltiples factores que podrían estar incidiendo en la adecuada gestión sobre los recursos hídricos podrían esbozarse los siguientes (CEPAL, 2000):

Cultura del agua. Percepción de Colombia como uno de los países con mayor riqueza de recursos hídricos en el mundo, creando un desconocimiento total del valor estratégico del agua.

Jerarquía institucional del sector hídrico. Descoordinación entre las entidades que conforman la autoridad ambiental.

Modelo y desarrollo económico devastador. Economía soportada en la mayor explotación de los recursos naturales y en el excesivo uso de los recursos hídricos como receptores de vertimientos líquidos y de basuras.

Dificultades de orden público. Afectan la gobernabilidad sobre amplias zonas del territorio nacional impidiendo el control eficaz sobre aspectos fundamentales, tales como:

- Deforestación y quemas.
- Cultivos ilícitos.
- Desplazamiento hacia los centros urbanos.
- Población dispersa en el territorio nacional.
- Seguimiento ambiental en zonas con dificultades de orden público.

Referencias

- Cardona, A. [2003], *El régimen jurídico de las aguas en Colombia*, Tomo I, Bogotá, Universidad Externado de Colombia.
- Cepal, Global Water Partnership, Naciones Unidas (2000), *Agua para el siglo XXI para América del Sur: De la visión a la acción - Informe Colombia*, Bonn.
- Global Water System Project (GWSP), *International Project Office*, Bonn.
- Colombia. Contraloría General de la República (2011), *Estado de los recursos naturales y del ambiente 2010 - 2011*, Bogotá.
- Colombia. Contraloría General de la República (2012), *Informe del estado de los recursos naturales y del ambiente 2011 - 2012*, Bogotá.
- Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2010), *Estudio nacional del agua 2010*, Bogotá, IDEAM.
- Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 1998), *Estudio nacional del agua 1998: Balance hídrico y relaciones oferta y demanda e indicadores de sostenibilidad proyectada al 2016*, Bogotá, IDEAM.
- Colombia. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2011), *Criterios de priorización de cuencas hidrográficas susceptibles de ordenación*, Bogotá, IDEAM.
- Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2012), *Colombia, 20 años siguiendo la agenda 21*, Bogotá.
- Colombia. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible e IDEAM (2011), *Criterios de priorización de cuencas susceptibles de ordenación*, Bogotá.
- IAvH, IDEAM, HUMBOLT, IIAP, SINCHI, INVEMAR (2011), *Informe del estado del medio ambiente y de los recursos naturales renovables 2010*, Bogotá, IDEAM, 384p.
- Instituto de Investigación sobre Evolución Humana (IIEH, 2013), *Evolución y Ambiente*, A.C. Bonn.
- Naciones Unidas (1972), *Informe de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente*, Cap. I, Estocolmo.
- Naciones Unidas (1992), *Informe de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo Río de Janeiro*, vols. I a III.
- Naciones Unidas. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2013), *Informe sobre Desarrollo Humano, El ascenso del sur: progreso humano en un mundo diverso*, Nueva York, PNUD.
- Naciones Unidas. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2011), *Colombia rural: Razones para la esperanza. Informe Nacional de Desarrollo 2011*, Bogotá, INDH PNUD.
- Naciones Unidas. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2006), *Más allá de la escasez, pobreza y la crisis mundial del agua, Informe sobre el Desarrollo Humano*, Nueva York, PNUD.
- Naciones Unidas. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 1992), *Agenda 21, Programa de acción para el desarrollo sostenible: Conclusiones oficiales de la Conferencia sobre Medio Ambiente y Desarrollo (UNCED)*, Rio de Janeiro, Brasil.



TV UNIVERSITARIA
PARA EL CABLE LATINOAMERICANO

42 universidades colombianas y 5 en Latinoamérica
producen la programación del Canal ZOOM

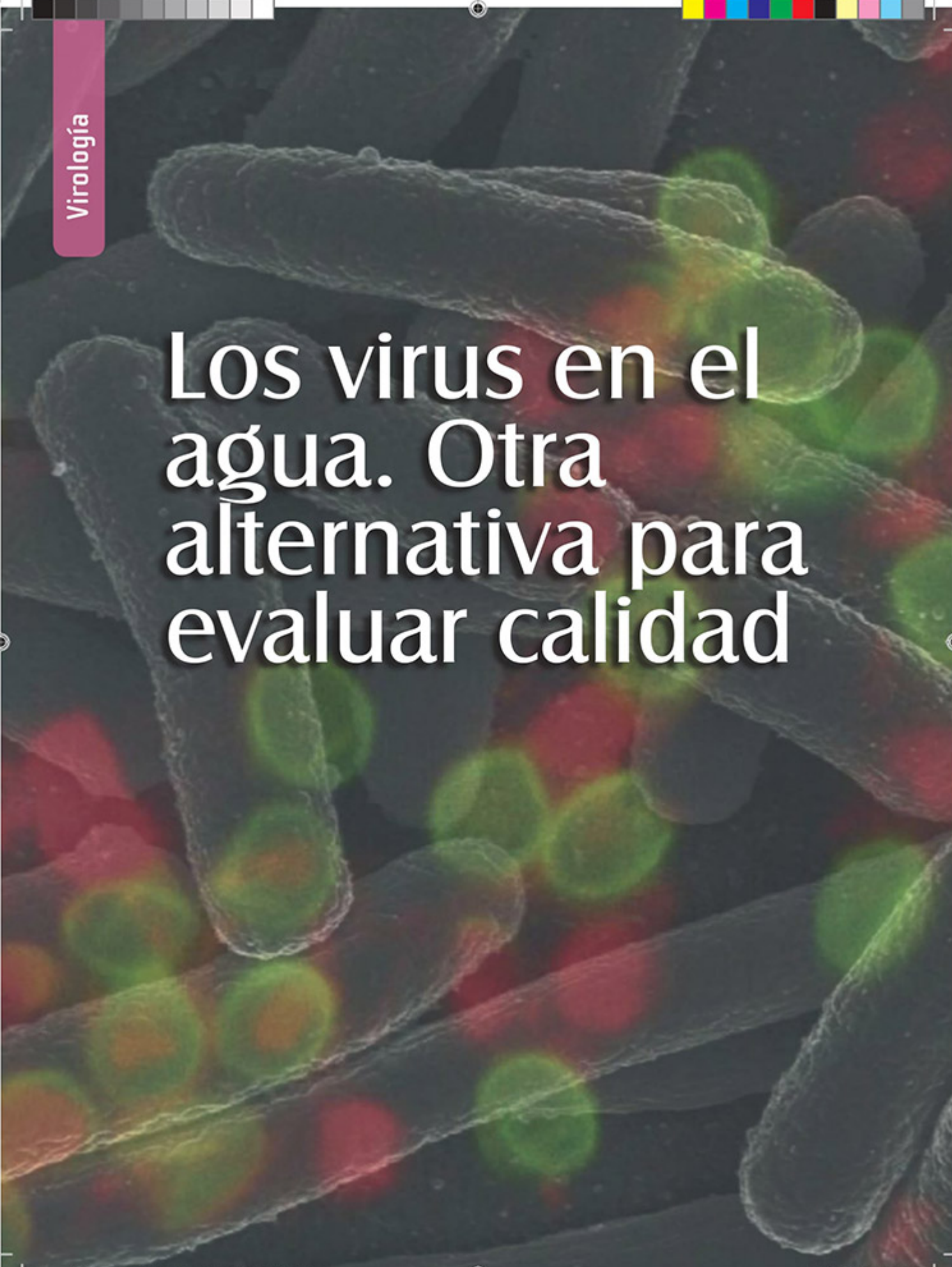
www.zoomcanal.com.co

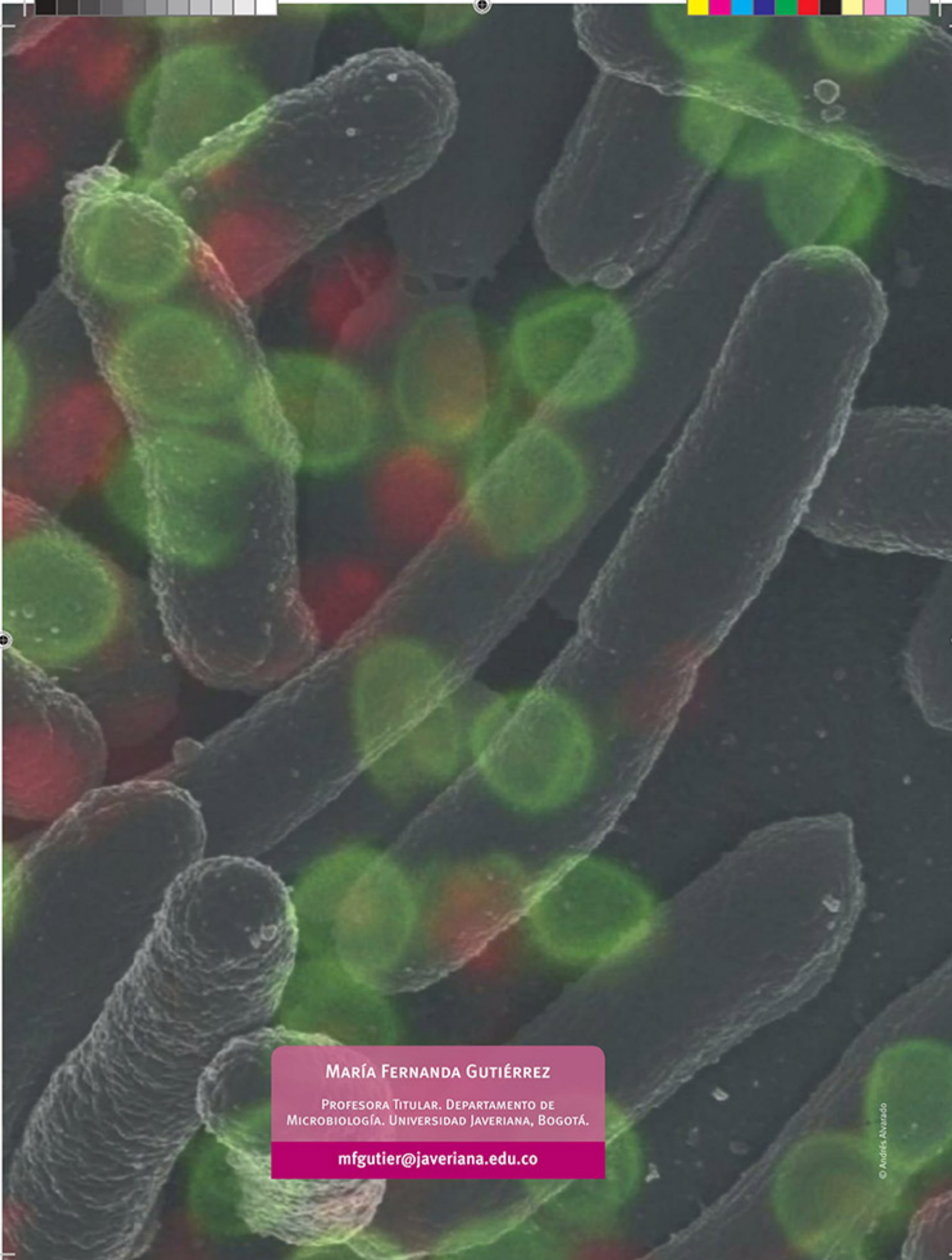


 @canalzoomtv
 /canalzoom
 /zoomcanal
 /canalzoomtv

Calle 36 #21-10, piso 4
Bogotá D.C., Colombia S.A.
Tel: 57 +1-805 2866
Gerente: german.perez@zoomcanal.com.co
Programación y Contenidos: jorge.puche@zoomcanal.com.co
Marketing: diana.gonzalez@zoomcanal.com.co

Los virus en el agua. Otra alternativa para evaluar calidad





MARÍA FERNANDA GUTIÉRREZ

PROFESORA TITULAR. DEPARTAMENTO DE
MICROBIOLOGÍA. UNIVERSIDAD JAVERIANA, BOGOTÁ.

mfgutier@javeriana.edu.co



El agua es un derecho humano fundamental. En el mundo hay más de 1.000 millones de personas que carecen de agua potable. De acuerdo a la OMS se estima que aproximadamente una de cada seis personas no tiene acceso a agua potable, lo que constituye una de los principales índices de pobreza de una nación. Estos datos y muchos otros reportados en todo el mundo crean una alerta sanitaria importante y una necesidad de encontrar soluciones a los problemas de falta y mal manejo de este recurso primordial para la vida.

Las personas dedicadas a estudiar la calidad del agua han demostrado que existen más de 120 y hasta 140 tipos diferentes de virus en aguas residuales. En caso de que estas aguas no sean bien tratadas, antes de llegar al mar o a los ríos se convierten en fuente de contaminación para el hombre, ya sea por su consumo directo, por alimentos contaminados con esta agua o por alimentos marinos como las ostras que, al filtrar el agua, atrapan y concentran virus, bacterias y otros microorganismos (Soule et al., 2000; Jothikumar et al., 1995).

Las normas europeas presentadas por The European Economic Directive en su documento "Quality of bathing Water" exigen que en 10 litros de agua no haya más de una Unidad Formadora de Placa en cultivo celular (UFP), lo que significa una partícula viral en 10 litros de agua, para ser aprobada como de consumo y se sabe que, en agua de mar, la presencia de entre 1 y 520 UFPs aumenta la posibilidad de infección por virus entéricos (Griffin et al., 2003).

Los virus han sido reportados en todo tipo de aguas: residuales, marinas, de ríos y estanques, así como aguas tratadas; e inclusive, aguas que provienen directamente de nacedores. Estos hallazgos, sumados a la capacidad que tienen los virus a resistir temperaturas de 4°C, de durar viables en el medio ambiente más tiempo que las bacterias y de infectar selectivamente especies específicas (Allmanna et al., 2013), hacen de ellos no solo un buen indicador de la calidad del agua sino también agentes potenciales de infección en hombres y animales. Es por esto que debemos generar una voz de alerta y despertar la necesidad de discutir políticas públicas que lleven a implementar controles sistemáticos de contaminación de virus en aguas (Jothikumar et al., 1995; Griffin et al., 2003; Bizziagos et al., 1988; Kewswick et al., 1984; Puig et al., 1994; Taylor et al., 2001; Tsai et al., 1993).

Los virus entéricos han sido conocidos por producir diarrea, afectando principalmente la población infantil a nivel mundial. Todos hemos oído hablar del famoso *Rotavirus* y, recientemente, de su vacuna, la cual contribuye con la disminución de la sintomatología de la infección. Sin embargo, además de este virus, hay otros que causan diarrea como lo son los *Norovirus*, los *Astrovirus*, los *Adenovirus* entéricos y otros menos conocidos como los *Picobirnavirus* y algunos *Coronavirus*.

“Los virus han sido reportados en todo tipo de aguas: residuales, marinas, de ríos y estanques, así como aguas tratadas; e inclusive, aguas que provienen directamente de nacedores.”

Hay otros virus que también se conocen como virus entéricos, puesto que entran por vía oral, pero no producen diarrea. Estos hacen un proceso de infección primaria localizada en el sistema digestivo pero de allí migran hacia otros lugares del organismo y se asocian con patologías distintas a la diarrea. Ejemplos de estos virus son el virus de la Hepatitis E, el del Polio, los *Coxsackie*, *Echo* y un grupo grande de virus conocidos como *Enterovirus*, donde se encuentra el Virus de la Hepatitis A (Masclaux et al., 2013).



Virus como alternativa de control de calidad del agua

Hablar de virus y de diarrea lleva a una asociación con enfermedad, pobreza, falta de educación y desequilibrio social. Sin embargo, este documento busca mostrar "otra cara de la historia", y es la posibilidad de que estos virus entéricos puedan ser utilizados como herramientas biotecnológicas o, mejor, como alternativa de biocontrol, puesto que con ellos se puede determinar el nivel de contaminación de aguas y alimentos.

El motivo para hacer dicha afirmación radica en que los virus entéricos, después de multiplicarse en los enterocitos, salen por materia fecal y, en la gran mayoría de los casos, termina en los ríos, contaminando el agua. Si este río es el que surte el acueducto, queda expuesto al proceso de potabilización, que no logra eliminarlo, pero sí disminuir su cantidad. Es importante mencionar que ni la sedimentación, ni la floculación, ni la cloración utilizadas en los procesos de potabilización del agua logran atrapar los virus; sin embargo, atrapan material orgánico en donde muchos de ellos se aglutinan, disminuyendo así la cantidad de virus en el agua potable.

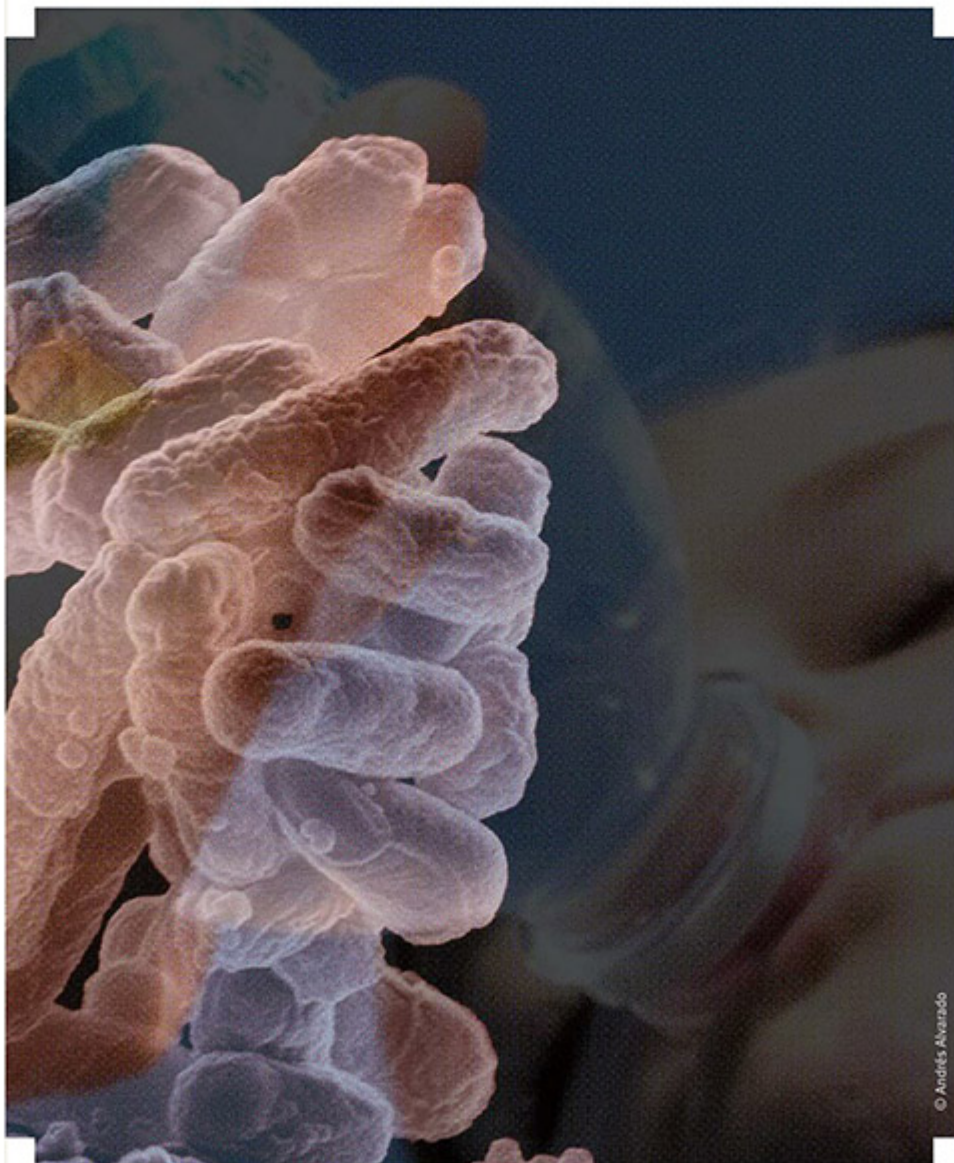


Estrategias utilizadas para determinar la calidad del agua y su pureza

El Decreto 1575 de 2007 (Colombia, 2007a), que derogó el decreto 475 de 1998 (Colombia, 1998), facultó a los Ministerios de la Protección Social y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial para definir características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano, entre otros, los elementos, compuestos químicos y mezclas de compuestos químicos y otros aspectos que puedan tener un efecto adverso o implicaciones directas o indirectas en la salud humana, buscando la racionalización de costos así como las técnicas para realizar los análisis microbiológicos y la adopción de definiciones sobre la materia.

La Resolución conjunta 2115 de 2007 fija, entonces, las normas técnicas de calidad de agua potable y las condiciones fisicoquímicas, organolépticas y microbiológicas que debe tener el agua para ser considerada potable. Detalla las características mínimas del agua que son: su color aparente expresado en Unidades de Platino Cobalto (UPC), su olor y sabor, turbiedad expresada en Unidades Nefelométricas de turbiedad (UNT), la presencia de sólidos totales expresada en mg/L, la ausencia de sólidos flotantes, valores máximos admisibles para la presencia de agentes químicos de tipo aluminio, antimonio, arsénico, cloro, cobre, cianuro, mercurio y otros 20 minerales más, la concentración permisible de cloro residual del orden de 0,3 a 2,0 mg/L, un pH entre 5,5 y 9,0 y unas concentraciones muy bajas para plaguicidas o sustancias tóxicas. La mencionada resolución especifica, en las características microbiológicas (Artículo 11), "Ninguna muestra de agua para consumo humano debe contener E. coli en 100 cm³ de agua, independientemente del método de análisis utilizado". (Colombia, 2007b).

Si bien el agua es considerada potable cuando cumple estos requisitos, con ellos no se logra evidenciar la presencia de virus o de algunos otros patógenos que pueden afectar la salud humana o animal. Por eso no es cierta la frase que dice "Agua potable, es agua segura".



© Andrés Alvarado



Las “Guías para la calidad del agua potable” de la OMS indican que no es práctico monitorear en el agua cada uno de los agentes patógenos que puedan encontrarse. De este modo, se ha aceptado la determinación de coliformes totales y coliformes fecales como pruebas estándar para determinar la calidad del agua y el riesgo indirecto sobre la salud humana. Sin embargo, su presencia no se relaciona con la presencia viral, lo que lleva a que este sistema no sea tan buen indicador de la calidad como se ha propuesto (Soule et al., 2000; Allmanna et al., 2013; Schwab, et al., 1995; Payment & Franco, 1993)

Buscando mejorar la sensibilidad de los ensayos, se ha implementado la búsqueda de parásitos tipo helmintos y de bacteriófagos. No obstante, determinar virus entéricos como indicadores de la calidad del agua da una información muy interesante para la empresa encargada de entregar a la comunidad agua limpia y apta para su consumo (Allmanna et al., 2013).

Esta alternativa ha sido aplicada por algunos autores, como por ejemplo Puig y colaboradores (1994), quienes proponen determinar Adenovirus entéricos y Enterovirus como marcadores de contaminación²¹⁰. La premisa con la cual este grupo trabajó fue que al lograr estandarizar métodos que detecten virus morfológica y estructuralmente diferentes como lo son estos dos tipos de virus, se valida la metodología para un gran número de ellos.

Los virus han sido buscados en agua casi desde su descubrimiento a principios del siglo pasado. Los primeros reportes datan de 1930 cuando utilizaron filtros a base de gasa para tratar de recuperar virus del polio y enterovirus. Los mecanismos de filtración continuaron mejorando y para 1970 y 1980 ya se trabajó con sistemas de ultrafiltración, buscando concentrar el virus presente en el agua para que fuera más sencilla su detección. Para esa misma época se implementaron las técnicas de filtración en papel, donde se utilizan filtros cargados eléctricamente de manera contraria a la carga de las proteínas virales buscando atrapar los virus presentes en el agua cuando esta pasa a través del sistema de filtración. Una vez se filtra el agua que se desea estudiar, el filtro se coloca sobre un buffer para la elución viral, logrando concentrar el virus presente. Estos dos métodos conocidos como ultrafiltración o filtración por carga, son dos de los más populares utilizados para concentrar los virus en el agua (Griffin et al., 2003; Allmanna et al., 2013).

Una vez concentrados, los virus deben ser detectados, para lo cual se han usado anticuerpos en pruebas de Inmunoensayo enzimático (ELISA) buscando las proteínas virales mediante anticuerpos ligados a la fase sólida. También se utilizan pruebas de polimerasa en cadena (PCR) o esta misma pero con transcripción reversa (RT-PCR) para buscar segmentos de genoma viral en caso de virus RNA. Actualmente se está usando RT-PCR o una variante más actualizada conocida como PCR en tiempo real, pues se considera de mayor sensibilidad que la PCR tradicional (Masclaux et al., 2013).¹⁰ Los productos génicos amplificados pueden ser secuenciados y con la información obtenida a partir de estas secuencias se puede determinar el origen del virus, es decir, podemos llegar a saber si el agua está siendo contaminada por desechos animales o humanos (Allmanna et al., 2013).

En caso de buscar mayor información, está como alternativa realizar muestreos del agua contaminada en los diferentes puntos de paso del río y buscar allí el virus. Con esta información se sabrá en qué lugar se está contaminando el río y se podrán tomar medidas puntuales para evitar esta contaminación.



Si bien parecería sencillo el realizar los procesos hasta ahora descritos, la búsqueda de virus en agua tiene varios inconvenientes que han limitado su implementación. El primero de ellos es el alto factor de dilución en el que se encuentran los virus en el agua, lo cual implica procesos de concentración que son dispendiosos y costosos (Allmanna et al., 2013). Se debe coleccionar un alto volumen de agua, la cual es muy difícil de transportar. Luego se debe filtrar, para lo cual es más fácil trabajar con los filtros cargados negativamente que con el sistema de ultrafiltración tangencial; y luego se deben implementar técnicas moleculares que significan altos costos económicos, un personal calificado y equipos de alta tecnología.



Si bien la información obtenida mediante estos procesos nos indica presencia viral, existe una alta posibilidad de tener resultados falsos negativos en el momento de interpretar estas pruebas como negativas, pues realmente hay dos cosas que estas pruebas no nos dan y son si realmente hay ausencia viral o si el segmento encontrado corresponde a un virus infeccioso. El motivo por el cual no detecta ausencia es por la poca sensibilidad tanto del proceso de concentración como de la prueba de detección. Bajas concentraciones de virus son difícilmente detectables con estos métodos. Por otra parte, la presencia del ácido nucleico no da información con respecto a si la partícula esta completa y es infecciosa. Para llegar a saberlo, tendrían que realizarse ensayos de viabilidad viral en cultivo celular, alternativa cada vez más lejana a los laboratorios donde se realizan ensayos para vigilar la calidad del agua.

Varios estudios realizados por nuestro grupo de Virología en la Universidad Javeriana, ha demostrado la presencia de virus en aguas en Bogotá, Facatativá y Quibdó (Gutiérrez et al., 2007; Lenis et al., 2012; Moreno et al., 2009). En estos estudios se ha observado la presencia de Rotavirus, Norovirus, Astrovirus y Virus de la Hepatitis A. Los resultados de positividad por pruebas de ELISA, y RT-PCR, han demostrado la presencia de proteínas o de segmentos génicos en el agua estudiada. En estos estudios no se ha contemplado la necesidad de cuantificar el virus en el agua ni en determinar la viabilidad de ellos.

Así pues, la presencia de la proteína supone la presencia de un virus completo o de estas proteínas que están siendo transcritas durante un ciclo de multiplicación viral (Lenis et al., 2012). Ahora bien, la presencia de un segmento del genoma también es interpretada como presencia viral.

En estos estudios, las pruebas que resultaron negativas no fueron confirmadas, quedando la duda si realmente eran negativas o si lo la cantidad de virus que estaba en el agua se encontraba en una cantidad inferior a la capacidad de detección por parte de la prueba.

Varias fueron las conclusiones de estos estudios. La primera es que resultados positivos de presencia de segmentos, bien sea proteicos o de ácidos nucleicos, son indicadores de presencia viral pues el virus es el único capaz de producirlos. En cuanto a los datos reportados como negativos se concluyó que pueden ser realmente falsos negativos, donde la no detección del virus se debe a que la dosis mínima infectante de estos virus está en el orden de 10 (Unidades formadoras de placas (UFP) x ml mientras que la cantidad de virus desde donde estas pruebas alcanzan a detectarlos es cercano a 1000 UFP x ml. La última conclusión descrita es que no es relevante cuantificar los virus presentes en el agua ya que muy pocas cantidades pueden ser infecciosas al huésped.

La conclusión general de este análisis es que la alternativa de implementar estas pruebas de concentración para luego hacer detección de virus en aguas da una información muy pertinente no solo para determinar contaminación viral sino también de presencia de partículas de unos tamaños muy pequeños. Otra ventaja es la posibilidad de determinar el lugar o la fuente de contaminación. Esta información es sin duda, más relevante, específica y sensible que la información dada con la detección de coliformes o de bacteriófagos y helmintos en las aguas. Sin embargo, los altos costos y la dificultad de realizar este tipo de estudios son quizás los motivos por los cuales vamos a continuar consumiendo virus y sufriendo de diarrea.

“La última conclusión descrita es que no es relevante cuantificar los virus presentes en el agua ya que muy pocas cantidades pueden ser infecciosas al huésped.”

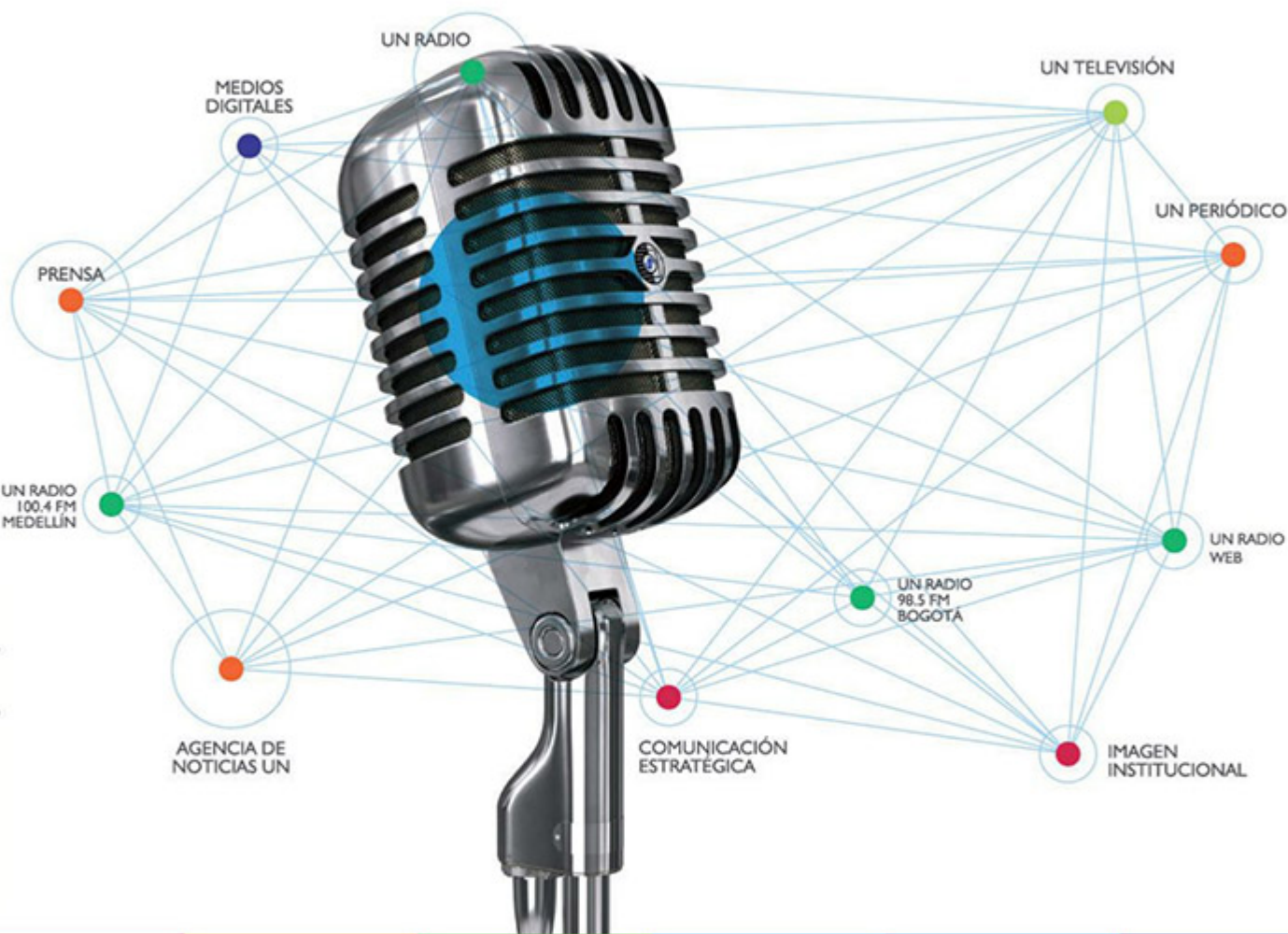
Referencias

- Allmanna, E. et al. (2013), Presence of enteroviruses in recreational water in Wuhan, China, *Journal of Virological Methods*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jviromet.2013.06.028>
- Biziagos, E., Passagot, J., Crance, J-M., Deloince, R. (1988), Long-term survival of hepatitis A virus and Poliovirus type 1 in mineral water, *Applied and environmental microbiology*, 54: 2705-2710.



- Colombia (1998), *Decreto 475 (marzo 10): por el cual se expiden normas técnicas de calidad del agua potable*, consultado en http://www.megagroindustrial.org.co/images/dinamicas/interactivos/buenas_practicas/documentos/decreto475.pdf
- Colombia (2007a), *Decreto 1575: por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano*, (mayo 9), consultado en <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=30007#35>
- Colombia (2007b), *Resolución 2115: Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano*, (Junio 22), Resolución Conjunta Ministerio de la Protección Social y de Ambiente; Ministerio de Vivienda y Desarrollo Territorial, consultado en <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=30008>.
- Colombia (2010), *Decreto 3930 (octubre 25)*, Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1979, así como el Capítulo II del Título VI -Parte III- Libro II del Decreto-ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones, consultado en <http://www.fedebiocombustibles.com/files/3930.pdf>
- Griffin, D.W., Donaldson, K.A., Paul, J.H., Rose, J.B. (2003), Pathogenic human viruses in coastal waters, *Clinical Microbiology Reviews*, **16**: 129-143.
- Gutiérrez, M., Alvarado, M., Martínez, E. & Ajami, N. (2007), Presence of viral proteins in drinkable water: Sufficient condition to consider water a vector of viral transmission?, *Wat. Res.* **41**, 373-378.
- Jothikumar, N., Khanna, P., Paulmurugan, R., Kamatchiammal, S., Padmanabhan, P. (1995), A simple device for the concentration and detection of enterovirus, hepatitis E virus and rotavirus from water samples by RT-PCR, *Journal of virological methods*, **55**: 401-415.
- Kewswick, B.H., Gerba, C.P., DuPont, H.L., Rose, J. (1984), Detection of enteric viruses in treated drinking water, *Applied and environmental microbiology*, **47**: 1290-1294.
- Lenis, C., López, J., Ulloa, J., Olaya, N. & Gutiérrez, M. (2012), Genoma viral demuestra la presencia de contaminación en aguas de consumo, *Infectio*, **16**:104-111.
- Masclaux, F., Hotz, F., Friedli, D., Savova-Bianchi, D. & Oppliger, A. (2013), High occurrence of hepatitis E virus in samples from wastewater treatment plants in Switzerland and comparison with other enteric viruses, *Wat. Res.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2013.05.050>
- Moreno, S., Alvarado, M., Bermúdez, A. & Gutiérrez, M. (2009), Análisis filogenético de las cepas de rotavirus y virus de la hepatitis A encontradas en agua de consumo en el municipio de Quibdó, Chocó, *Biomédica*, **29**, consultado en <http://www.ins.gov.co/index.php?idcategoria=8512>
- Payment, P., Franco, E. (1993), Clostridium perfringens and Somatic coliphages as indicators of the efficiency of drinking water treatment for viruses and protozoan cysts, *Applied and environmental microbiology*, **59**: 2418-2424.
- Puig, M., Jofre, J., Lucena, F., Allard, A., Wadell, G., Girones, R. (1994), Detection of Adenovirus and enterovirus in polluted waters by nested PCR amplification, *Applied and environmental microbiology*, **60**: 2963-2970.
- Schwab, K.J., De Leon, R., Sobsey, M.D. (1995), Concentration and purification of beef extract mock eluates from water samples for detection of enteroviruses HAV and Norwalk virus by RT-PCR, *Applied and environmental microbiology*, **61**: 531-537.
- Soule, H., Genoulaz, O., Gratacap, B., Chevallier, P., Liu, J., Seigneurin, J. (2000), Ultrafiltration and reverse transcription-polymerase chain reaction: an efficient process for poliovirus, rotavirus and hepatitis A virus detection in water. *Wat Res*, **34**: 1063-1067.
- Taylor, M.B., Cox, N., Vrey, M.A., Grabow, W.O.K. (2001), The occurrence of hepatitis A and Astrovirus in selected river and dam waters in South Africa, *Wat. Res.*, **35**: 2653-2660.
- Tsai, Y., Sobsey, M.K., Sangermano, L.R., Palmer, C.J. (1993), Simple method of concentrating enteroviruses and HAV from sewage and ocean water for rapid detection by RT-PCR, *Applied and environmental microbiology*, **59**: 3488-3491.





un/unimedios / comunicación estratégica / ideas para crecer



PBX: 3 165000

Extensiones: Dirección: 18384 - Televisión: 18359 - Radio: 18104
Prensa: 18108 - Medios Digitales: 18280 - Comunicación Estratégica: 18341

Radio y educación

LA RADIO PARA LLEVAR EL AGUA: PATRIMONIO HISTÓRICO DE LA HUMANIDAD



MARÍA FERNANDA SERRANO GUZMÁN

DIRECTORA GENERAL DE INVESTIGACIONES,
LÍDER GRUPO DeCOR

mariaf.serrano@upb.edu.co

NORMA CRISTINA SOLARTE VANEGAS

COORDINADORA ESPECIALIZACIÓN EN VÍAS
TERRESTRES, INVESTIGADORA GRUPO DeCOR

norma.solarte@upb.edu.co

LUZ MARINA TORRADO GÓMEZ

COORDINADORA DE LABORATORIOS DE INGENIERÍA
CIVIL, INVESTIGADORA GRUPO DeCOR

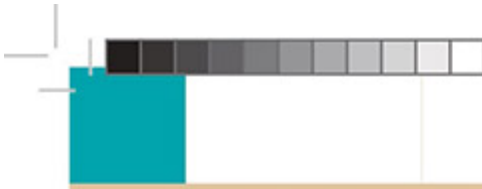
luz.torrado@upb.edu.co

DIEGO DARÍO PÉREZ RUIZ

DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL
E INDUSTRIAL, PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA,
CALI, INVESTIGADOR DeCOR

ddperez@javerianacali.edu.co





Este material estará disponible en la página web de la Casa del Libro Total, que es en la actualidad el repositorio digital más grande con el que cuenta Colombia, visite <http://www.ellibrototal.com/ltotal/>

Resumen

El quehacer de las instituciones educativas exige un compromiso con la sociedad. Por tal razón, se plantean estrategias que permitan la proyección fuera del claustro educativo, como los cursos de extensión, que usualmente se basan en la presencialidad. Sin embargo, existen estrategias de comunicación utilizadas en el pasado con las que es posible llegar en forma masiva a la comunidad, una de ellas *la radio*. En este trabajo se presenta la estrategia mediática seguida para llevar, a través de las ondas hertzianas¹, un curso de actualización sobre el agua y el manejo de cuencas y se exhorta al uso del formato digital que perpetúa los contenidos presentados en el curso radial *Agua: Patrimonio Histórico de la Humanidad*. Con esta experiencia se concluye que la radio continúa siendo un espacio abierto de formación, al cual es posible acceder desde las casas si se desea.

Introducción

La misión inicial de la Radiodifusora Nacional de Colombia, como bien lo dijera Eduardo Santos en su discurso de inauguración, era trabajar por la cultura nacional en todos sus órdenes, colaborar con las universidades, colegios y escuelas en el proceso de formación, lo cual dio origen al bachillerato por radio, del que se formaron alrededor de dos millones de personas en el país (Semana.com, 2010). Hoy, en cambio, se busca formar para la economía del conocimiento, lo cual ha permitido que buenos programas de formación, a nivel nacional e internacional, estén disponibles para los usuarios con el uso del computador, permitiendo llegar a la población en forma masiva y gratuita.

Justamente en Colombia, desde 1948 y durante el tiempo de existencia del bachillerato por radio, la comunidad se educaba —en el horario de 4:00 am a 8:00 am y de 6:00 pm a 8:00 pm— mediante emisión puntual del formato radial, la presencia de facilitadores y la preparación de material impreso (eltiempo.com, 2005). La intencionalidad del bachillerato por radio era lograr que los colombianos superaran el analfabetismo (Arango, 2013). Infortunadamente, el bachillerato por radio se dejó de transmitir en octubre de 2004, fecha que coincide con la liquidación de Inravisión. Es de resaltar que, aún hoy en día, la radio es el medio con el cual la mayoría de la población puede acceder a temas de actualidad, conocer de farándula, distraerse y, lógicamente, formarse, y que Colombia fue y sigue siendo un país de radio (Semana.com, 2010).

1. Las ondas de radio u ondas Hertzianas son ondas electromagnéticas. El ámbito de las frecuencias de las ondas de radio se extiende de algunas decenas de kilohertzios hasta los límites de los infrarrojos.

Antecedentes del curso radial

El Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación —Colciencias—, mediante convocatoria durante el 2012, apoyó el desarrollo de la Semana Nacional de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación con el tema del agua. Por tal razón, Unired² convocó a los miembros y a otras organizaciones a plantear estrategias de vinculación a esta semana con diferentes actividades. La iniciativa de un curso de radio sobre esta temática constituyó uno de los aportes de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.

En la actualidad existe una amplia variedad de medios educativos que son utilizados para transmitir conocimiento a diferentes tipos de comunidades; el internet y sus redes sociales, por ejemplo, están ocupando el espacio que otrora tuvieron la televisión y la radio. La posibilidad de accesibilidad a este conocimiento, por lo tanto, está limitada a quienes tengan buena conexión.

Para superar la anterior limitación, se toma la decisión de ofrecer un curso de radio, para que, mediante las ondas hertzianas, se enviara el mensaje de formación del curso Agua: patrimonio histórico de la humanidad. El objetivo del curso era sensibilizar a los oyentes sobre las estrategias pertinentes para conservar el agua, para realizar buenas prácticas en cuanto a la conservación de las cuencas hídricas y el buen uso de los sistemas de distribución y recolección, pretendiendo con ello generar un legado cultural sobre el cuidado de este recurso, que, aunque ha estado disponible a lo largo de toda la historia del hombre, está sometido a un mal uso, poniendo en riesgo la supervivencia de la humanidad.

La difusión de este curso se hizo a través de la emisora *Radio Católica Metropolitana 1450 AM*, y la parrilla de radio³ se compartió con otras radiodifusoras universitarias a nivel nacional, llegando a todo tipo de audiencia. Adicionalmente, se preparó un enlace virtual al cual se puede acceder ingresando a <http://cursoradial.upbbga.edu.co/>.



2. UNIRED está conformada por 15 Instituciones de Educación Superior y 2 Centros de Investigación, en los departamentos de Santander, Boyacá y Norte de Santander: Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga desarrolladores del curso de radio, Universidad Industrial de Santander, Universidad Autónoma de Bucaramanga, Universidad Santo Tomás, Universitaria de Investigación y Desarrollo, Universidad Manuela Beltrán, Universidad de Santander, Universidad Cooperativa de Colombia, Unidades Tecnológicas de Santander, Fundación Universitaria Comfenalco Santander, Fundación Universitaria de San Gil Unisangil, Universidad de Boyacá, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Universidad Francisco de Paula Santander, Ecopetrol - Instituto Colombiano del Petróleo, Fundación Cardiovascular de Colombia.

3. La parrilla de radio es el programa que se transmite a través de un canal de radio. Esta parrilla contiene cada una de las secciones distribuidas en intervalos de tiempo y en los intermedios de cada sección se hace uso de cortinillas que ambientan al radio escucha del cambio de tema.

Cada programa de radio se organizó en segmentos como "Tema del Día", "El Arte también se expresa", "Los científicos dicen que..." y se incluyó una sección de consulta de la comunidad, entre otra variedad de experiencias auditivas y culturales. El paso a paso del programa revela habilidades específicas en las que se promueve un trabajo mancomunado de cooperación con pequeños grupos, pueblos y comunidades para que todos aprendan a querer y usar razonablemente el recurso hídrico, involucrando así la formación de toda la sociedad en pro del ecosistema, con esta técnica de enseñanza preservada en un espacio virtual.

De este curso se prepararon los libros "La calidad del agua y su importancia en el desarrollo de la comunidad", "Uso del Agua y Manejo de Cuencas" y "Relación entre el agua y el hombre a través del acueducto y el alcantarillado".

Parrilla del curso Agua, Patrimonio Histórico de la Humanidad

Con el fin de mantener a la audiencia comprometida en un programa de radio, se hace necesaria la incorporación de diferentes estrategias auditivas. Por esta razón, se incorporaron segmentos, entre los cuales se destacan:

Datos Curiosos. La selección de estos datos incluía temas de actualidad y durante cada uno de los programas radiales se hacían las correspondientes referencias bibliográficas de donde cada tópico era extraído. Algunos datos curiosos se ejemplifican en la Figura 1.

Figura 1.

Ejemplos de Datos Curiosos encontrados en los distintos programas del curso radial Agua, Patrimonio Histórico de la Humanidad.





El arte también se expresa. En esta sección se mencionaron diferentes obras literarias, al igual que pinturas sobresalientes en las que se hace alusión al agua. El ejemplo contenido a continuación corresponde a *Veinte mil leguas de viaje submarino*, la famosa obra de Julio Verne:

Hace aproximadamente un siglo, ningún avión surcaba el cielo y los barcos de vapor eran la novedad (...)

Querida audiencia, así inicia la gran obra literaria *Veinte mil leguas de viaje submarino*, escrita por el escritor francés Julio Verne. Esta historia, que se desarrolla al interior del buque estadounidense Abraham Lincoln, al mando del almirante Farragut, y que durante su travesía se interesa por la caza de un extraño cetáceo, con un largo y filoso cuerno en el hocico...

Otro ejemplo es la evocación a los poemas de Edgar Allan Poe, que fueron tratados durante el segundo día del curso de radio. Este escritor, poeta, crítico y periodista romántico hizo alusión al agua en su obra poética.

En el cine también se encuentran diferentes películas relacionadas con el agua. Por ejemplo, en el curso del día quinto se mencionan referencias encontradas sobre varias películas, destacándose las de *Moby Dick* y *Almas en el Mar* (Estudio / Mar, 2012). Particularmente, de esta última se decía que:

Otra de las películas que se desarrolla en las fuentes de agua es *Almas en el mar*, que transcurre el año 1842 y en donde se trata el tema de "trata de personas", el cual tristemente está vigente en nuestros días. En la trama, barcos de varias naciones "civilizadas" se dedicaban al transporte de seres humanos de todas las edades y sexos secuestrados de sus aldeas y familias en el África occidental, en condiciones ignominiosas para ser vendidos como esclavos en las colonias euro-americanas. En esta película, interpretada por Gary Cooper, dos miembros de la tripulación de uno de estos buques, movidos a compasión, intentan salvar de este trágico destino a las personas que transportan...

El público pregunta y nosotros respondemos. En esta sección se involucró a la comunidad mediante encuestas realizadas directamente por la comunicadora social Ana Katherine Toro, y respondiendo a preguntas recibidas por correo electrónico. Estas son algunas de las preguntas y respuestas del día décimo del curso:

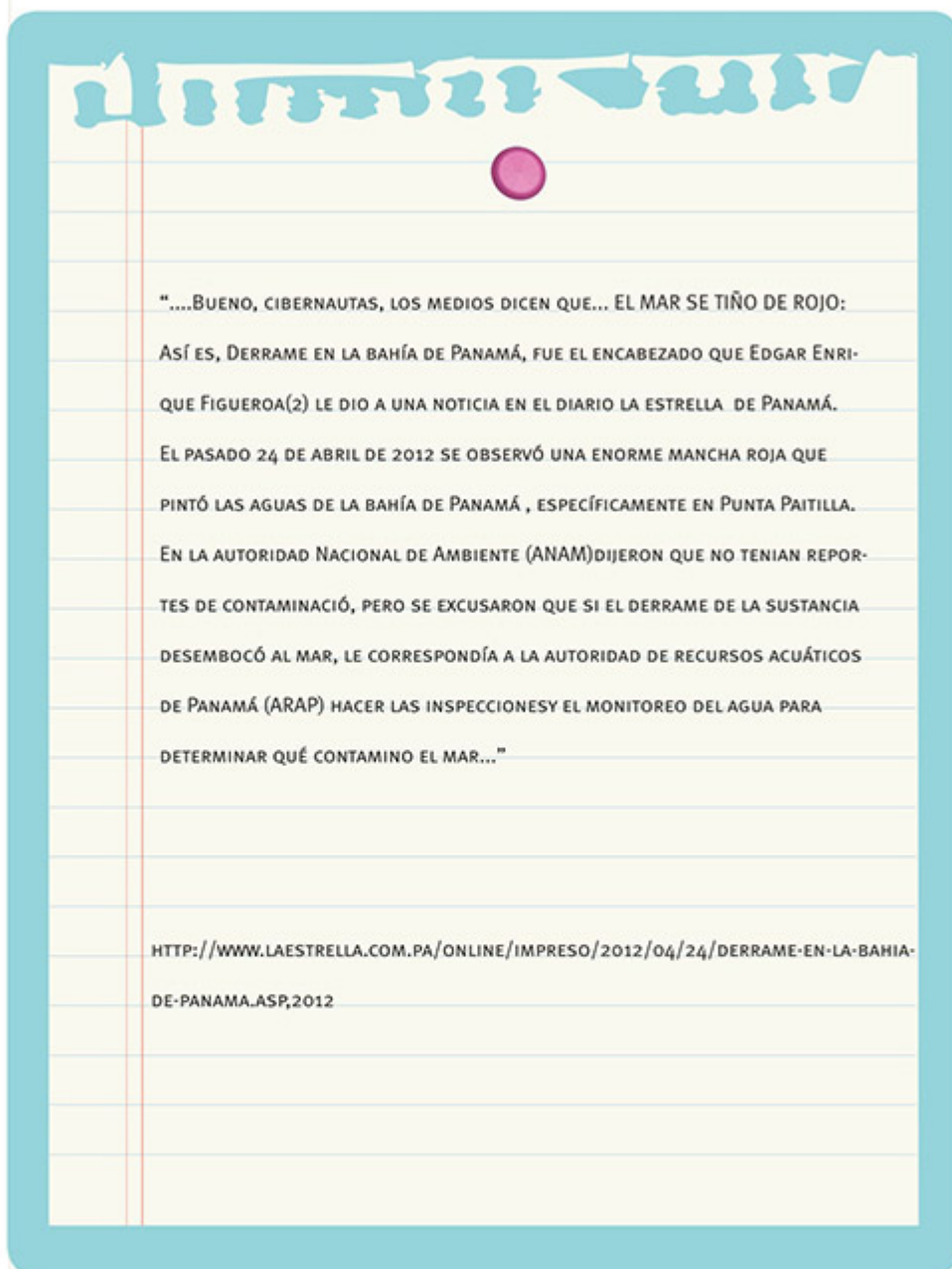
¿Cómo se pueden definir lineamientos para que el agua alcance para todos?, preguntémosle a los expertos de la mesa de trabajo:

—Es una interesante pregunta, y evidencia la conciencia que se está reforzando sobre el hecho que el agua debe compartirse y que lo que hagamos hoy, le repercute a las futuras generaciones. Como la calidad del agua para consumo humano es limitada, es necesario establecer lineamientos para garantizar la preservación de la calidad de este recurso. Por ejemplo, se puede empezar por el trabajo de mantenimiento y recuperación de las cuencas que son unidades hidrográficas y geomorfológicas en donde se encuentra el recurso hídrico. Una cuenca es el área sobre la cual se desplazan o se almacenan las aguas que van a desembocar en los lagos, ríos, quebradas, humedales, estuarios o bahías, de las cuencas hablaremos en un próximo programa...

Los medios dicen que... En esta sección se incluían aspectos relevantes tratados en prensa o radio a nivel local o internacional. Para ilustrar este contenido, se han seleccionado notas de prensa radial y escrita, así como notas de televisión. (Figura 2).

Figura 2.

Aparte de la sección Los Medios dicen que ..., día seis del curso radial Agua, Patrimonio Histórico de la Humanidad (Figueroa, 2012).



Otros ejemplos se ilustran en los temas abordados en el día séptimo:

...Y, siguiendo el tema del día, los medios dicen que.... En mayo del 2011 en Bucaramanga ocurrió un cese del servicio de agua en varios sectores. En el diario Vanguardia Liberal (www.vanguardia.com, 2012), se presentó una nota que se titulaba "Continúan los cortes de agua en Bucaramanga y Floridablanca por turbiedad de ríos Tona y Suratá" (...) Los ríos Suratá y Tona, que alimentan las plantas de Bosconia y La Flora, salieron del servicio por la imposibilidad de tratar el agua de estas fuentes, debido a las crecientes originadas por los fuertes aguaceros de la noche de ayer y la madrugada de hoy martes, que arrasaron lodo y material vegetal (Vanguardia.com, 2011).[finaliza cita]

La academia también se expresa. Era necesario incluir el aporte de la academia con relación a la temática del agua, incluyendo tanto referencias en formato impreso como en formato digital. Para ejemplificar esto se hace mención al programa dieciséis, en donde se resumieron los temas tratados: disponibilidad del agua, importancia de la calidad de las aguas y procesos para que estas aguas se mantengan en el ecosistema. Se aprovechó este espacio para hacer una introducción al papel del drenaje vial para control de la erosión causada por el agua de escorrentía.

...Estimados radioescuchas, la sesión de hoy está dedicada a presentar las diferentes estructuras que permiten un buen drenaje de las aguas de escorrentía aplicado estrictamente a las vías que son los vasos comunicantes en la comunidad (...).[finaliza cita]

El contenido tratado este día se resume en la Figura 3.

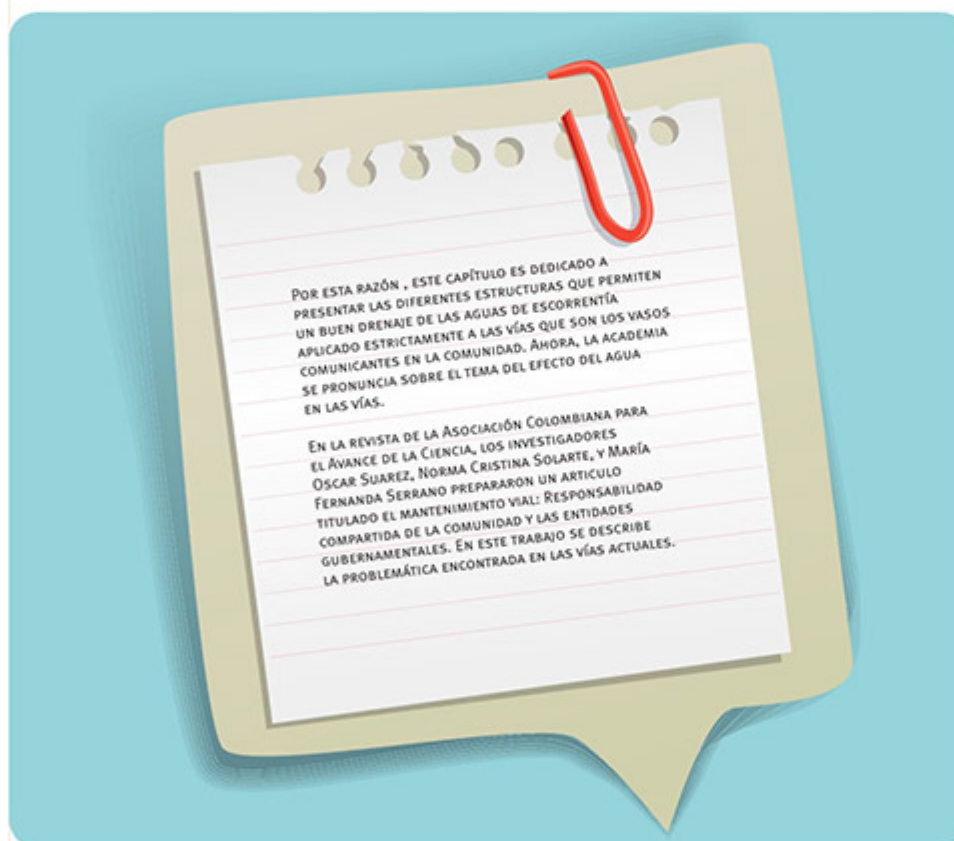


Figura 3.

Aparte de la sección La Academia se expresa, día dieciséis del curso radial Agua, Patrimonio Histórico de la Humanidad (Solarte et al., 2012).

La parrilla radial fue compartida en otras emisoras universitarias, pudiendo ofrecerse el curso a nivel de Bogotá y Medellín. Se destaca también que, por parte de la Casa del Libro Total, se hizo una divulgación del lanzamiento de los libros que dan soporte técnico al curso. Estos libros son:

- *La calidad del agua y su importancia en el desarrollo de la comunidad*. Autor: María Fernanda Serrano Guzmán; ISBN: 978-958-8506-30-2.
- *Uso del agua y manejo de cuencas*. Autor: Luz Marina Torrado Gómez; ISBN 978-958-8506-29-6.
- *Relación entre el agua y el hombre a través del acueducto y el alcantarillado*. Autores: Norma Cristina Solarte Vanegas, María Fernanda Serrano Guzmán y Diego Darío Pérez Ruiz; ISBN 978-958-8506-31-9.



Conclusiones

El agua es un recurso natural del cual se beneficia el hombre. Sin este recurso la humanidad dejaría de existir. Mediante la divulgación de este curso *Agua: Patrimonio Histórico de la Humanidad*, se hace uso de la tecnología de información y comunicación más antigua: la radio. Adicionalmente, con el fin de preservar el curso, se elaboró una página web que almacena las sesiones radiales: <http://cursoradial.upbbga.edu.co>.

Referencias

- Arango, R. (2013). "Del bachillerato por radio al MOOC", *El Colombiano*, publicado el 2 de abril de 2013. Consultado el 3 de junio de 2013, en http://www.elcolombiano.com/BancoConocimiento/D/del_bachillerato_por_radio_al_mooc/del_bachillerato_por_radio_al_mooc.asp.
- Eltiempo.com. Archivo (2005). "Se apagó el bachillerato por radio en Colombia", [documento electrónico], *El Tiempo*, Fecha de publicación 11 de mayo de 2005, Consultado el 3 de junio de 2013, en <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-1637440>
- Estudio / Mar, *La Filmonáutica*, Consultado el 3 de junio de 2013, en <http://www.estudiomar.org.es/Peliculas%20Marineras.html>
- Figuroa, E. (2012). "Derrame en la bahía de Panamá", *Laestrella.com.pa*. Archivo,, Fecha de publicación 24 de abril de 2012, Consultada el 1 de junio de 2013, en <http://www.laestrella.com.pa/online/impreso/2012/04/24/derrame-en-la-bahia-de-panama.asp/>.
- Semana.com. Archivo (2010). Los años maravillosos de la radio [documento electrónico], *Semana*, Fecha de publicación 31 de mayo de 2010, Consultado el 4 de junio de 2013, en <http://www.semana.com/cultura/articulo/los-anos-maravillosos-radio/117304-3>
- Solarte, N.; Serrano, M.F.; Suárez, O (2012). "Responsabilidad de la comunidad en el mantenimiento vial", *Innovación y Ciencia*, Volumen 19 núm. 1.
- Vanguardia.com. Archivo (2011). "Continúan los cortes de agua en Bucaramanga y Floridablanca por turbiedad de ríos Tona y Suratá", *Vanguardia*, Fecha de publicación 17 de mayo de 2011. Consultado el 1 de junio de 2013, en <http://www.vanguardia.com/historico/104842-continuan-los-cortes-de-agua-en-bucaramanga-y-floridablanca-por-turbied>.



90.4 F.M
LAUD
Universidad Distrital
Francisco José de Caldas



2000-2013 Conectados a la Verdadera
Alternativa de la Radio

90.4 FM ESTÉREO

LAUD 90.4 FM ESTÉREO Emisora de la
Universidad Distrital Francisco José de Caldas
PBX: (057)(1) 2877160 - 2877159 Calle 31 # 6 - 42 piso 8
Bogotá D.C



laud90.4 FM ESTÉREO



@laudestereo



laud.udistrital.edu.co



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Ver para conocer, conocer para preservar







Colombia: un cielo por descubrir

- **Tormenta eléctrica.** Bogotá, martes 13 de agosto, 19:00 horas. Thor con toda su furia sobre Bogotá, rayos por doquier iluminaban el cielo. Este fenómeno es del tipo nube-nube y se produce por una descarga entre una acumulación eléctrica de un determinado tipo de carga en el interior de un cumulonimbo y una zona de carga opuesta en la atmósfera.

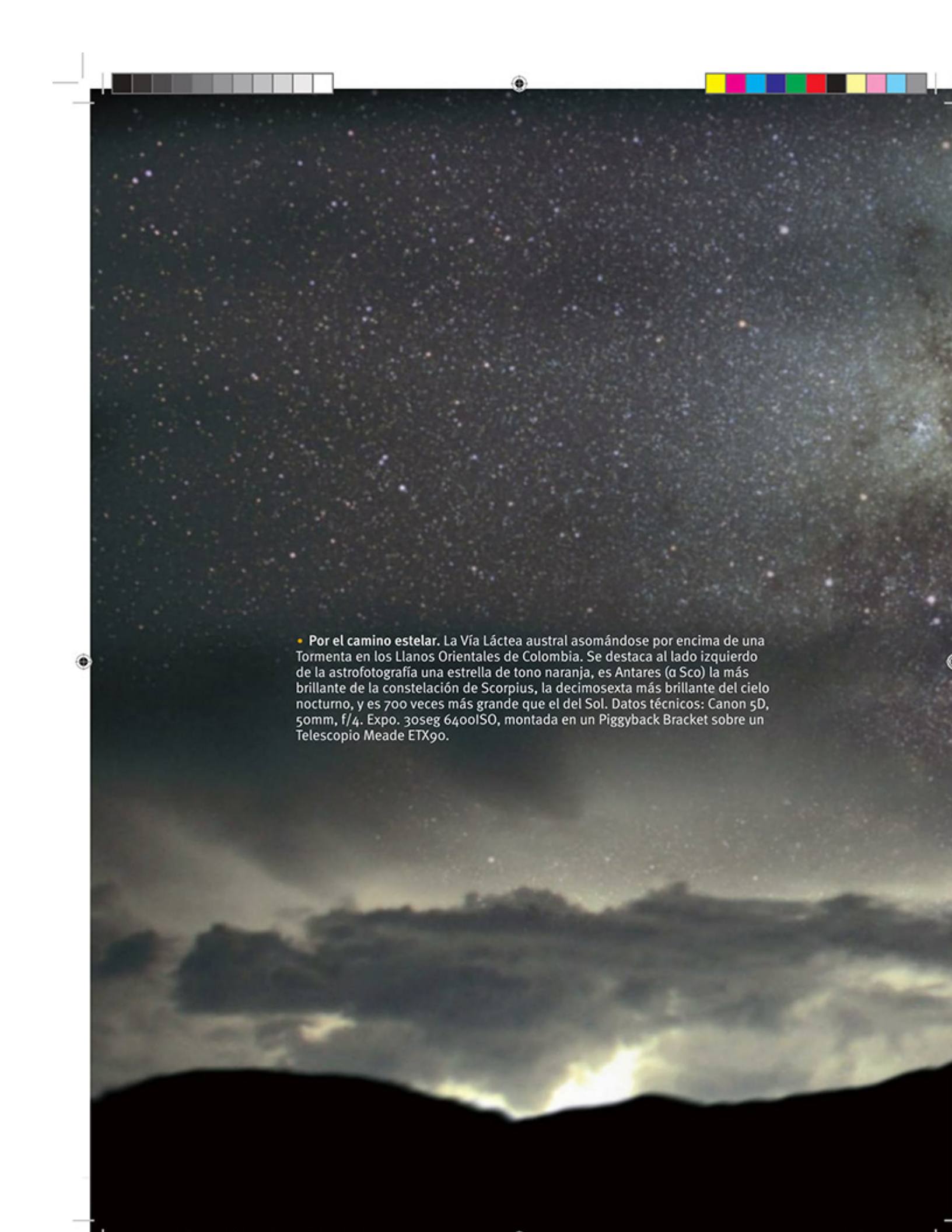
Fotografías de **Leonardo Delgado Ariza**
Astrofotógrafo y docente
de astronomía y ciencias afines.

grandleonid@gmail.com

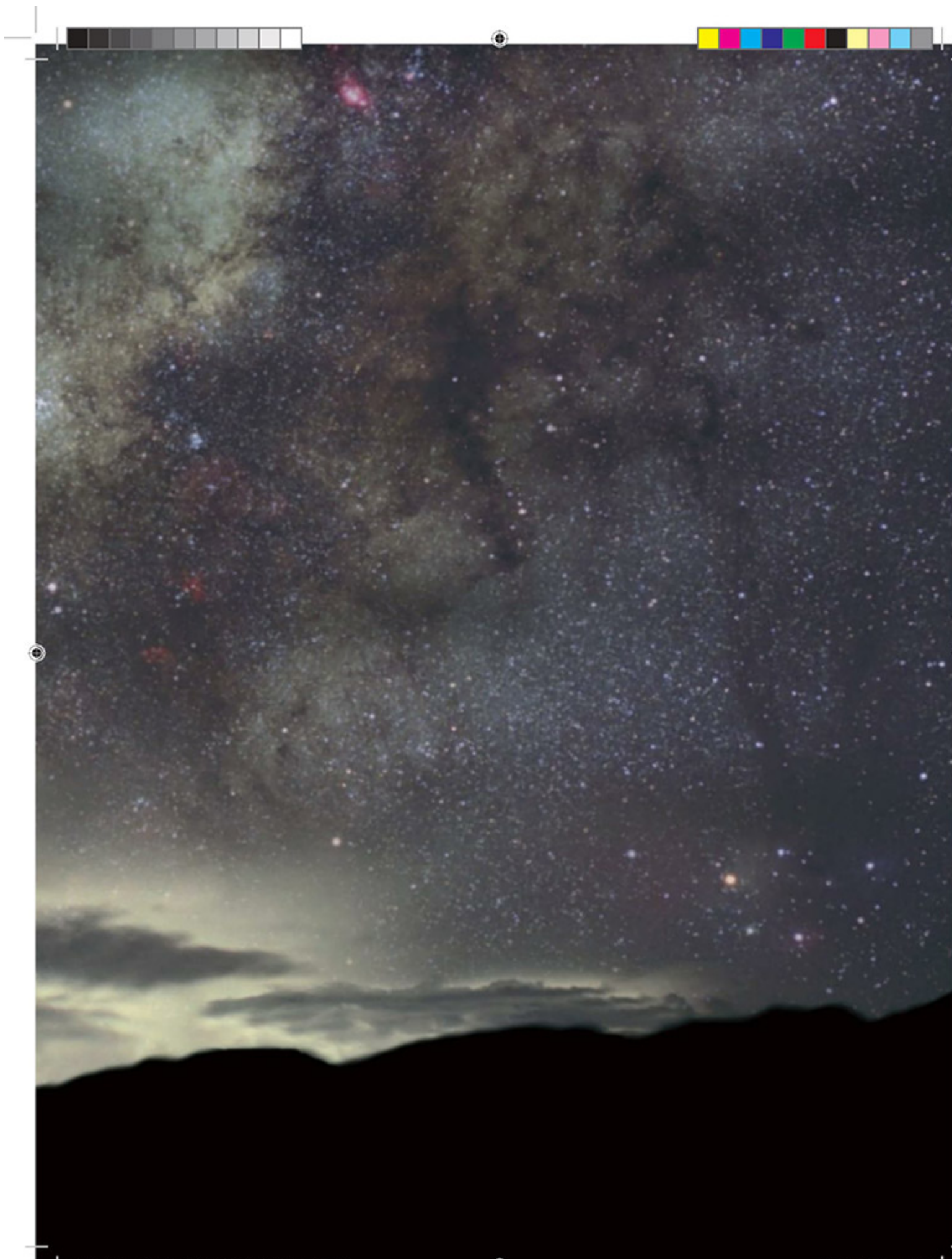


- 
- **Arco blanco o arco de niebla.** Un amanecer cubierto por una densa niebla al occidente de la Sabana de Bogotá con el Oriente despejado. Surgen asombrosos fenómenos atmosféricos como este arco de niebla. Es parecido a un arco iris, pero debido al tamaño diminuto de las gotitas de agua que causan la niebla, menores que 0,05 mm, los colores son débiles y parece blanco.





• **Por el camino estelar.** La Vía Láctea austral asomándose por encima de una Tormenta en los Llanos Orientales de Colombia. Se destaca al lado izquierdo de la astrofotografía una estrella de tono naranja, es Antares (α Sco) la más brillante de la constelación de Scorpius, la decimosexta más brillante del cielo nocturno, y es 700 veces más grande que el del Sol. Datos técnicos: Canon 5D, 50mm, f/4. Expo. 30seg 6400ISO, montada en un Piggyback Bracket sobre un Telescopio Meade ETX90.







- **Nubes lenticulares sobre Monserrate.** Son nubes en forma de platillo o lente convergente, se desarrollan en zonas montañosas a grandes altitudes y son estacionarias. Pertenecen a los cirrocúmulo, altocúmulo o estratocúmulo y con frecuencia los confunden con ovnis los aficionados a ellos. Lo cierto es que la acción del viento y la montaña suele darles estas figuras inusuales. Datos técnicos: Objetivo 200mm f/8 100 ISO.

RESILIENCIA A INUNDACIONES: LECCIONES APRENDIDAS EN EL RÍO DE ORO ÁREA METROPOLITANA DE BUCARAMANGA





DIEGO ALEJANDRO GUZMÁN ARIAS

MSC INGENIERÍA CIVIL, DOCENTE FACULTAD
INGENIERÍA CIVIL UPB BUCARAMANGA –
INVESTIGADOR GRUPO DECOR UPB

diego.guzman@upb.edu.co

JUAN CARLOS FORERO SARMIENTO

MSC INGENIERÍA CIVIL, DOCENTE FACULTAD
INGENIERÍA CIVIL UPB BUCARAMANGA –
INVESTIGADOR GRUPO DECOR UPB.

juan.forero@upb.edu.co

MARÍA FERNANDA SERRANO GUZMÁN

MSC INGENIERÍA CIVIL, PHD EN INGENIERÍA CIVIL,
DOCENTE FACULTAD INGENIERÍA CIVIL Y DIRECTORA
DE INVESTIGACIONES UPB BUCARAMANGA – LÍDER
GRUPO DECOR UPB.

mariaf.serrano@upb.edu.co



Resumen

El desarrollo y crecimiento de las grandes ciudades ha generado conflicto en el uso del suelo por cuanto en el afán de la expansión se han invadido terrenos que debían permanecer inalterados para cumplir el propósito de atenuar la fuerza destructiva de la naturaleza cuando ocurren eventos como las fuertes precipitaciones. Hoy existen herramientas de gestión que integran el concepto de resiliencia, para ir en el mismo sentido de estas fuerzas y no en su contra, propendiendo por una coexistencia equilibrada, a pesar de las alteraciones antrópicas (originadas por la actividad humana) de los hidrosistemas. Se destaca que un programa de gestión de la administración pública, basado en el conocimiento histórico de los eventos catastróficos, con seguridad permitirá inversiones en infraestructura acordes con las verdaderas necesidades de la comunidad.

Introducción

“Resiliencia” es un término utilizado en diferentes ocasiones dependiendo de la experticia y el contexto del hablante. La definición más común de esta palabra hace referencia a la capacidad de ciertos materiales de deformarse ante la aplicación de un esfuerzo exterior y volver a sus dimensiones originales pasado dicho esfuerzo. Para un ingeniero, la resiliencia es la capacidad de un material elástico (materiales que tienen la propiedad de deformarse en mayor o menor proporción sin fallar) para absorber y almacenar la energía de deformación. Citando un ejemplo de lo anterior consideremos tener un resorte en nuestras manos; posteriormente, que de cada uno de sus extremos se aplicara una fuerza en diferentes sentidos para lograr estirarlo y al soltar de los extremos el resorte recuperara su forma original; a esto se le denomina resiliencia. Para un conocedor de las ciencias sociales, la resiliencia es la capacidad del ser humano de asumir con flexibilidad situaciones límite o estresantes y poder sobreponerse a ellas. Sin embargo, etimológicamente la resiliencia es un extranjerismo inglés adaptado al español proveniente de la palabra “Resilience”, que a su vez se deriva del latín *resilio, -ire* que significa “saltar hacia atrás” o “volver de un salto”, compuesto por el prefijo re- y el verbo salire ‘saltar’ (RAE, 2001).

En los últimos años se ha venido explorando el concepto de resiliencia y su relación con los hidrosistemas y se ha introducido en la gestión del riesgo por inundaciones (Mendiondo, 2013). El concepto de resiliencia contextualizado al riesgo por inundaciones, según estudios recientes se define como “...la velocidad con la que un sistema en equilibrio es perturbado y recupera en alguna proporción su estado inicial” (Vis, 2003:33).

Como tal, la resiliencia es lo contrario de la resistencia, por cuanto esta mide la capacidad de un sistema de persistir si se le molesta y de mantenerse sin mostrar ninguna reacción en absoluto.

Recientemente se ha notado una tendencia a la adaptación de estrategias de gestión del riesgo por inundación en muchos países, fundamentadas en la combinación de métodos para su reducción (Whitfield, 2012:337). En primer lugar se han enfocado en la predicción de crecientes y sistemas de alertas tempranas; y, segundo, en la construcción de defensas estructurales que conllevan a mayores inversiones económicas.

Para entender y correlacionar la definición de riesgo con la resiliencia, se deben considerar los elementos que lo constituyen. El riesgo se encuentra en función de la amenaza —en este caso la inundación— que, en esencia, es una situación de vulnerabilidad a la que se somete la población a sus activos, y la consecuente exposición de éstos a la amenaza.

Cada uno de estos factores es dinámico, y el riesgo finalmente dependerá de la capacidad institucional e individual de hacer frente y/o de actuar para reducir el riesgo. Lo descrito anteriormente se resume en la ecuación 1 (UNISDR, 2012:7):

$$\text{RIESGO DE CATÁSTROFE} = \frac{(\text{Amenaza} \times \text{Vulnerabilidad} \times \text{Exposición})}{(\text{Resiliencia o Capacidad de Confrontar})}$$

Ecuación 1.

Relación entre los elementos que constituyen el riesgo. Fuente: UNISDR, 2012.

De acuerdo a la ecuación 1, el riesgo de catástrofe se deriva del cociente entre el producto de la amenaza la vulnerabilidad y la exposición, y la capacidad de confrontar la catástrofe. La manera más sencilla de analizar esta ecuación es observar qué variables incrementan el riesgo de una catástrofe al obtener el cociente entre ellos. Por ejemplo, todo incremento en las variables del numerador, es decir la amenaza, la vulnerabilidad y la exposición, se verá reflejado en un incremento en el riesgo; otro escenario posible que generaría un incremento en el riesgo es el decrecimiento en el denominador o en la capacidad de confrontar la catástrofe.

Comportamiento del Río de Oro

Parte del presente trabajo es soportado en el Documento Final “Diagnóstico, Amenazas de Inundación y Erosión en el Río de Oro” de la Corporación de Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB) terminado en el 2005, y de los estudios y análisis de los eventos de precipitación más recientes e importantes sobre la Subcuenca del Río de Oro realizados por el Grupo de Investigación en Detección de Contaminantes y Remediación (DeCoR) de la Facultad de Ingeniería Civil en la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.

Los problemas de inundaciones y deslizamientos de tierras, que en años recientes ha traído consigo la ola invernal en nuestro país, generaron cuantiosos daños a la infraestructura y fatales pérdidas humanas de los ciudadanos menos favorecidos. Esta situación es el común denominador en muchos países del mundo y lamentablemente, Colombia no es la excepción. Se puede verificar por diferentes medios que los periodos invernales de los últimos años han sido los más fuertes.

Se señala al fenómeno de *La Niña* como una de sus causas y al innegable efecto del cambio climático global que ya es una realidad (Ball, 2012). Los últimos sucesos han puesto en evidencia deficiencias importantes en las políticas de ordenamiento ambiental y territorial, la planeación y gestión de infraestructura, la gestión de riesgos, la coordinación institucional, la aplicación estricta de la normatividad y la falta de preparación e información en la población.

Descripción de la zona de estudio

La Subcuenca Río de Oro forma parte de la Cuenca Superior del Río Lebrija y está conformada por las micro cuencas o cuencas de menor tamaño Oro Alto, Oro Medio, Río Frío, Río Lato y Oro Bajo. El área de la Subcuenca es de 56.942 Hectáreas, esta se localiza en el corredor de alta montaña sobre la cordillera oriental, con elevaciones que van desde los 900 msnm¹ y los 3500 msnm. Administrativamente, hacen parte de ella cinco municipios: Bucaramanga, Floridablanca, Girón, Piedecuesta y Tona en el departamento de Santander – Colombia (Guzmán, 2012).

1. La sigla msnm (metros sobre el nivel del mar) hace referencia a la elevación de un punto respecto al nivel del mar, que usualmente se toma como cero.

La corriente del Río de Oro en su recorrido por la Subcuenca media y baja atraviesa dos de los municipios que conforman el área metropolitana de Bucaramanga: Piedecuesta y Girón.

Justamente, es Girón la población que históricamente ha sido la más vulnerable y afectada por los eventos extremos de precipitación, que han dado lugar a grandes inundaciones con resultados catastróficos, pérdidas materiales y de vidas humanas. Para evaluar la resiliencia a las inundaciones en la ribera del Río de Oro, se recopiló la información más relevante de los eventos de precipitación² que han generado los problemas de inundación de mayor impacto sobre la población y sus bienes en la zona. Para ellos, se utilizó la información registrada en la estación pluviográfica³ (Granja Piedecuesta operada por el IDEAM), por cuanto ésta presenta un registro continuo de información, desde el año 1970, de todos los eventos históricos de lluvia que han generado inundaciones; también ha registrado, sin excepción, los picos máximos de precipitación; y finalmente, por la cercanía a la estación pluviográfica del campus universitario.

Según el estudio de la CDMB (CDMB, 2005) los eventos de inundaciones más recordados y difundidos por los medios, dado su impacto devastador se resumen en la Tabla 1.

Tabla 1.
Eventos históricos más sobresalientes en Girón. Fuente: CDMB, 2005:28.

Fecha del Evento Lluvioso	Observaciones	Registro Pluviográfico
19 de Octubre de 1931	Máximo evento histórico reportado aproximadamente no hay dato de damnificados.	NO
14 de Octubre de 1944	Evento de gran magnitud pero de muy poca información histórica reportada no hay dato de damnificados.	NO
14 de Octubre de 1973	Evento de gran magnitud pero con gran despliegue periodístico. Histórico reportado aproximadamente 40 mil damnificados en Girón un muerto y tres heridos.	SÍ
27 de Enero de 1998	Evento de gran despliegue periodístico pero de magnitud mediana 2850 damnificados (pérdida de vivienda total o parcial) en Girón y Bucaramanga.	SÍ
12 de Febrero de 2005	Uno de los eventos históricos de mayor magnitud cerca de 996 viviendas destruidas, más de 50 muertos y cuantiosas pérdidas económicas.	SÍ

Al comparar la fecha de los eventos lluviosos con las inundaciones y el registro Pluviográfico, se encontró que estos coincidieron siempre con los picos máximos del registro histórico total del pluviógrafo, mostrando así la relación directa entre los caudales máximos del río y la precipitación excesiva. En la Tabla 2 se relaciona una nueva columna (total precipitación acumulada evento en mm) en donde se totaliza la precipitación antecedente, esto sirve para tener una medida de cuán saturado se encuentra el suelo y su capacidad de infiltrar y retener el agua⁴.

2. La precipitación está directamente relacionada con los caudales en los ríos, ya que una porción del agua lluvia se evapora, otra se infiltra en el suelo y la otra escurre, la velocidad del escurrimiento depende de la cobertura del suelo; y la rapidez y cantidad con que llegue al río depende en gran parte de la magnitud de la inundación.

3. Equipo para medir cuánta agua lluvia se precipitó en un determinado lugar, de tal forma que mide el espesor de una lámina de agua en milímetros por metro cuadrado de influencia de la estación en intervalos de tiempo de entre 10 a 5 minutos y permite graficar las variables tiempo vs. mm de lluvia.

4. La retención de agua por parte del suelo es muy importante en el contexto de las inundaciones, ya que un suelo no saturado trabaja como un tanque contenedor que evita el flujo rápido y abundante de agua en la superficie del terreno, retrasando así su ingreso al río y mitigando el efecto de inundaciones. Suelos muy saturados por lluvias antecedentes no retienen el agua de precipitación, la cual se convierte en escorrentía directa que ingresa rápidamente al río y genera los caudales súbitos responsables de las inundaciones.

Fecha del Evento Lluvioso	Registro Pluviográfico en mm	Total precipitación acumulada evento en mm
14 de Octubre de 1973	76,5	76,5
27 de Enero de 1998	133,5	133,5
12 de Febrero de 2005	93 el 8 de Febrero, 31 el 10 de Febrero, 86 el 11 de Febrero y 9,6 el 12 de Febrero	219,6

Tabla 2.

Relación entre evento y precipitación acumulada. Fuente: (CMB, 2005:28).

De los eventos registrados históricamente se encontraron algunas tendencias que pueden ser información de utilidad para disminuir el riesgo, aumentando la resiliencia o la capacidad de confrontar un determinado evento futuro de inundación (figura 1). Por ejemplo:

- Las precipitaciones que generaron los episodios de inundaciones ocurrieron entre las 11 de la noche y la madrugada del día siguiente.
- Históricamente, la mayor frecuencia en la que se esperan los eventos extremos de precipitación, y que han sido causantes de las inundaciones de mayor magnitud, son los meses de octubre-noviembre y enero-febrero.

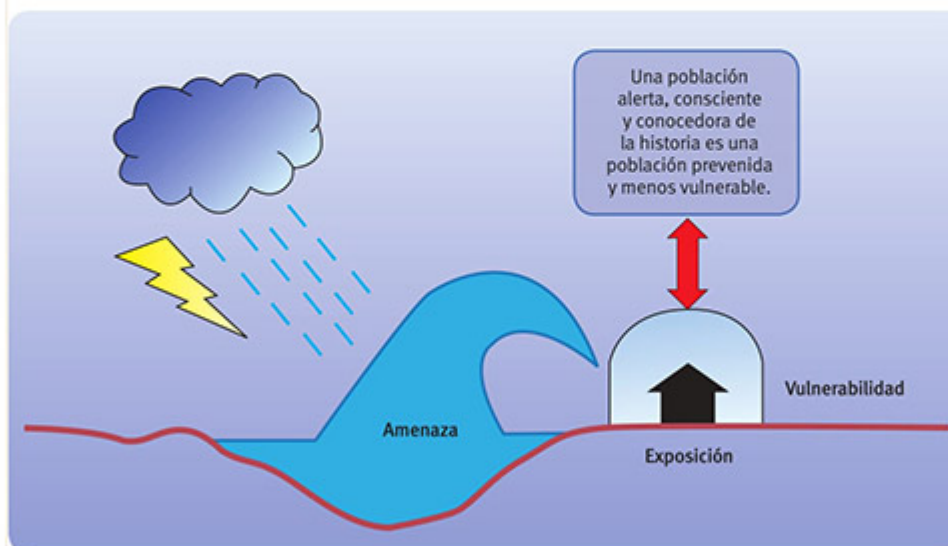


Figura 1.

Representación de amenaza y riesgo en desbordamiento de un río.

Impacto del Río en Bucaramanga y su área metropolitana

Bucaramanga y su área metropolitana han sido foco de crecimiento y desarrollo en el oriente del país, lo que ha impulsado también el asentamiento de la industria y el comercio hacia las afueras de la ciudad. Como práctica común la localización de estos emporios se ha dado mayoritariamente en ese entorno, a orillas del Río de Oro, en sectores utilizados en el pasado por el Río para mitigar y descargar las aguas de exceso, es decir, en los llamados sectores de amortiguación de crecientes⁵.

5. Sectores por lo general planos sobre los valles aluviales, en donde los ríos descargan las aguas de exceso y amortiguan los picos de caudales de inundación.

Adicionalmente, los asentamientos de poblaciones no legales, que invaden las riberas del Río de Oro en periodos secos, han encontrado superficies ideales para instalar sus viviendas y morar tranquilamente allí hasta que inician los periodos lluviosos, temporada en la cual pasan de tener el estatus de invasores a damnificados por el invierno.

Este crecimiento mal planeado, o no normalizado estrictamente, junto con los fenómenos sociales intrínsecos a la problemática nacional, generan un escenario de muy baja resiliencia y un desbalance en la igualdad de riesgo, aumentando la exposición de la población —en su mayoría la más vulnerable— e incrementando a su máxima expresión el riesgo de una catástrofe por inundación. A todo esto se deben sumar las grandes pérdidas de la industria, producto de la exposición innecesaria a una amenaza latente.

Análisis preliminar de la resiliencia en las precipitaciones del 2013 en la zona

En la noche y madrugada de los días 8, 9 y 17 de febrero de 2013, se presentaron tres eventos de precipitación importantes que, individualmente y en grupo, superaron los registros de precipitación del evento que inundó al municipio de Girón en el 2005 (Tabla 3).

Tabla 3.

Registro pluviográfico de evento de lluvia de alto impacto. Fuente: Guzmán, 2012.

Fecha del Evento Lluvioso	Registro Pluviográfico en mm	Total precipitación acumulada evento en mm
17 de Febrero de 2013	128,5 el 8 de febrero, 54,8 el 9 de febrero y 128 el 17 de febrero.	311,3

Según los registros del IDEAM en la estación Granja Piedecuesta, los tres eventos de precipitación acumularon 311,3 mm de lluvia, e individualmente las tormentas de la madrugada del 8 y 17 de febrero pasaron a ser el segundo y tercer registros más grandes de todo el historial de la estación.

Para tener una idea de las condiciones antecedentes (precipitación máxima acumulada histórica de 9 y 15 días anteriores a los eventos de gran magnitud en la estación Granja Piedecuesta) y obtener un indicador de la saturación del suelo, que podría ser un factor detonante en la desestabilización de los taludes y el incremento de los caudales, se analizaron los datos de precipitación y se encontró que lluvias como las registradas en febrero de 2013 no habían tenido precedentes en los registros históricos de las estaciones Granja Piedecuesta y Estación UPB⁶, especialmente por su magnitud y frecuencia.

Especialmente la precipitación en estos eventos mostró una uniformidad en toda el área Metropolitana de Bucaramanga, ya que estaciones más retiradas también presentaron picos importantes. De la estación UPB se extrajeron los registros de precipitación de dichos eventos y coincidieron con los datos de la estación IDEAM Granja Piedecuesta.

Los registros de la estación Pluviográfica UPB que aportan información de precipitación cada 10 minutos, reportaron las precipitaciones de los días 8 y 17 de febrero de 2013, en donde se pudo medir una precipitación total de 132 mm y 142 mm respectivamente, mostrando altos valores de intensidad⁷ (mayores a 100 mm/hora) y dejando en evidencia que fueron eventos bastante fuertes y distribuidos no registrados antes en la estación UPB. Esta información se puede observar (Figura 2 y Figura 3), donde se representan con la línea roja la precipitación acumulada durante el evento y con la línea azul la intensidad de la tormenta.

6. Estación Pluviográfica ubicada a 4,5 kilómetros de distancia la estación IDEAM Granja Piedecuesta. La estación UPB entro en funcionamiento en octubre de 2009.

7. La intensidad en la precipitación se define como el volumen de agua precipitada sobre el tiempo en que esta se precipitó. Mayores volúmenes de agua en poco tiempo da intensidades más altas (tormentas).

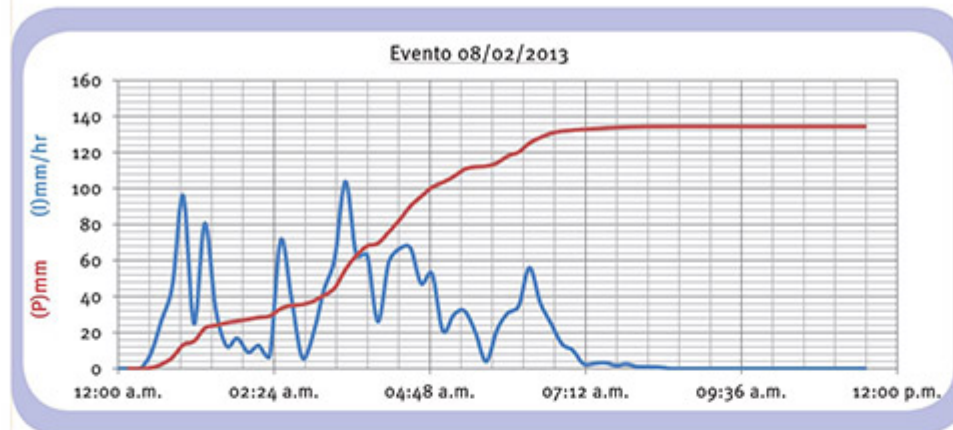


Figura 2.

Registro de precipitación e intensidad en 12 horas el 8 de febrero de 2013.

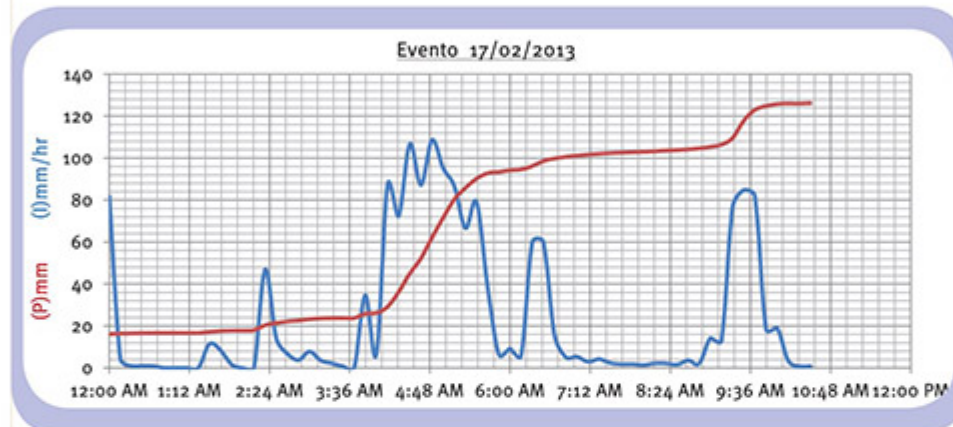


Figura 3.

Registro de precipitación e intensidad en 12 horas el 17 de febrero de 2013.

¿Qué le pasó a la población de los alrededores del río con estos eventos superiores a los catastróficos del 2005?

Puesto que las inundaciones del año 2005 dejaron grandes pérdidas humanas y económicas, el gobierno —nacional, departamental y municipal— destinó, en aquel entonces, importantes rubros para la recuperación de los damnificados y se hicieron inversiones en infraestructura, robusteciendo y elevando los sistemas de protección existentes (muros de protección contra inundaciones), generando una percepción de seguridad en la población que habita usando estructuras como protección, aun sabiendo que se le está quitando un espacio al río que, con seguridad, muy probablemente en el futuro reclamará.

Esta seguridad es relativa si no se atacan los otros factores de la igualdad de riesgo (exposición y amenaza), ya que con esta nueva altura de las estructuras se garantizó la protección a la población ante un evento de precipitación más fuerte que el del 2005.

Pero, con la variabilidad climática nadie puede asegurar que un evento mayor no se va a producir en los próximos años y la probabilidad de falla de las estructuras ante un evento mayor es incierta. Desde esta perspectiva, solo se podría decir que ante un evento mayor las estructuras que hoy tienen la capacidad de retener mayores volúmenes de agua, también tienen la contundencia para generar una tragedia mayor.

Los efectos de este evento en la región señalan:

- Reporte de daños y muertes menor al de años anteriores.
- Algunos deslizamientos (taludes desestabilizados por efecto del agua) sobre la zona montañosa nororiental del área metropolitana.



- Parálisis vehicular y del sistema de transporte masivo de un día en la Autopista Piedecuesta – Floridablanca por desbordamiento de una Quebrada (Figura 4).
- Avería de compuertas en la bocatoma del acueducto de Piedecuesta y sedimentación del desarenador⁸ (Figura 5).
- Una muerte por imprudencia de un conductor al querer atravesar un vehículo por el río. Y
- Daños aislados en un barrio asentado recientemente, posterior al evento del 2005, en el municipio de Piedecuesta.

Es claro que después de la tragedia, el hidrosistema del Río fue modificado, generando cambios en la capacidad de confrontar los eventos de inundación (resiliencia), pero dejando en igual medida las variables del numerador de la expresión del riesgo. Es decir, la población y sus bienes aún están bajo amenaza de un evento de inundación inminente, viviendo detrás de las estructuras mejoradas y son vulnerables porque no se han implementado las herramientas para gestionar el riesgo (planes de evacuación) ni se ha invertido en sistemas de alertas tempranas que permitan a la población anticiparse a la catástrofe.

Figura 4.

Ocupación de la vía por el desbordamiento del Río sector denominado como La Españolita en la vía que de Piedecuesta conduce a Bucaramanga.



8. Estructura hidráulica para remover sólidos por decantación del agua para consumo humano.



Figura 5.

Colmatación
desarenador
acueducto
Piedecuesta.

Conclusiones y lecciones aprendidas

Según los análisis locales de precipitación, actualmente una tormenta presenta una mayor cantidad de agua precipitada que hace algunas decenas de años, esto debido posiblemente a la variación de la temperatura en el planeta y el cambio de la capa superficial del terreno a escalas regionales, tópicos que se deben continuar estudiando ya que los modelos y teorías para la predicción del clima se están viniendo abajo con los últimos eventos registrados.

Se debe definir la resiliencia en el contexto de la gestión del riesgo por inundaciones, con el objetivo de generar estrategias de gestión para nuestra realidad social, en las que la resistencia "la lucha contra las inundaciones" (estrategia tradicional), no sea el único enfoque, sino el direccionamiento de los esfuerzos en la reducción del impacto por inundaciones pensando en cómo "vivir con ellas".

El grado de exposición no se está disminuyendo con la construcción de grandes obras de infraestructura para la prevención de inundaciones. Aún así, proporciona un sentimiento de seguridad en la población; el objetivo clave radica en dar espacio a las inundaciones, es decir, no interferir con este proceso natural y pensar siempre en la minimización del impacto concurrente. Esto implica que las consecuencias de las inundaciones deben ser tomadas en cuenta en la planeación municipal, mediante la normalización del riesgo y aplicación estricta de las normativas existentes respecto a la diferenciación sobre la base del uso del suelo y el ordenamiento del territorio, con políticas que desanimen a las personas a construir en lugares peligrosos.

Las estrategias de gestión del riesgo por inundación enfocadas bajo el concepto de resiliencia deben considerar medidas para reducir los impactos de las inundaciones, tales como el diseño de los sistemas de alertas tempranas y planes de evacuación. Las estrategias de gestión bajo este enfoque también deben incluir medidas para acelerar la recuperación después de una inundación, como, por ejemplo, la legislación de normas de compensación de daños y seguros por inundaciones según los niveles de riesgo.

Finalmente, se considera necesario reunir a profesionales expertos para presentar y discutir los últimos avances de investigación, desarrollo e implementación de medidas de recuperación y planes de manejo de inundaciones, para no esperar a que estos siempre tomen por sorpresa a las comunidades, práctica que ha conllevado a que se invierta tiempo y dinero en la recuperación de lo que es recuperable, pero no en la prevención.

Referencias

- Ball, T. et al. (2012), "A new methodology to assess the benefits of flood warning", *Journal of Flood Risk Management*, Vol. 5 (septiembre – diciembre) núm. 4: 188 -202.
- Bucaramanga. Corporación para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB, 2005), *Documento de diagnóstico, amenazas de inundación y erosión en el Río de Oro*. [Estudio, manuscrito].
- Guzmán, D.; Serrano, M.; Forero, J. (2012), *Propuesta de diseño e implementación de la red hidrometeorológica UPB sobre la cuenca de las corrientes Mensulí y Palmichala FASE 1*, Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga.
- Mendiondo, E. (2013). "Towards Participatory-based Water Resilience Index for Coupling Vulnerability, Impacts and Adaptation Strategies at Areas under Land Use Change", *Water in Anthropocene: Challenges for Science and Governance; Session: Working with uncertainties: Models & Data* (memorias, mayo 21-24). Bonn, Germany.
- Naciones Unidas. Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres (UNISDR, 2012), *Cómo desarrollar ciudades más resilientes: Un manual para líderes de los gobiernos locales*, Ginebra, Suiza:.
- Real Academia de la Lengua Española (RAE, 2001), *Diccionario de la Lengua Española*, Avance de la Vigésimo Tercera Edición, Consultado en <http://www.rae.es/rae.html>
- Vis, M. (2003). "Resilience strategies for flood risk management in the Netherlands", *International Journal of River Basin Management*, Vol. 1 (enero – abril) núm. 5: 33 -40.
- Whitfield, P. (2012), "Floods in Future Climates: a review", *Journal of Flood Risk Management*, Vol. 5 (septiembre – diciembre), núm. 4: 336 -365.



Transformamos conocimiento y tecnología en soluciones innovadoras

CIDET, como Centro de Desarrollo Tecnológico con reconocimiento de COLCIENCIAS, busca contribuir efectivamente en el desarrollo de capacidades para mejorar la competitividad y productividad del sector eléctrico colombiano, a partir de investigación, desarrollo e innovación, construyendo alianzas entre la academia, los actores del sistema nacional de ciencia, tecnología e innovación, el sector productivo, los gremios y el Estado.



Servicios en I+D+i

- ✓ Gestión de proyectos de investigación, desarrollo e innovación (I+D+i)
- ✓ Gestión de transferencia tecnológica
- ✓ Gestión para la innovación
- ✓ Gestión de redes y cooperación
- ✓ Gestión de propiedad intelectual y explotación de resultados de I+D+i
- ✓ Vigilancia tecnológica, inteligencia competitiva y prospectiva

CIDET vigila permanentemente diversos mercados y sectores para identificar cómo la tecnología y el conocimiento existentes se pueden utilizar de nuevas formas o cómo combinar de manera innovadora la tecnología existente para crear nuevos o mejores productos, servicios y modelos de negocio en el sector eléctrico.

Ventajas del Servicio

- ✓ Gerencia de proyectos de I+D+i bajo estándares internacionales que garantizan el adecuado control de incertidumbres y riesgos.
- ✓ Movilización de recursos desde el Estado y las entidades de fomento.
- ✓ Altas tasas de éxito en la formulación de propuestas.
- ✓ Articulación efectiva de actores diversos, públicos y privados, en un mismo proyecto.
- ✓ Soporte técnico ex-post de los proyectos.
- ✓ Esquema de negociación flexible de los derechos patrimoniales de la propiedad intelectual.
- ✓ Familiaridad con las capacidades y problemáticas sectoriales.

Manantiales termales, algo más que recurso recreativo: fuentes de agua y biodiversidad





SANDRA BAENA

BIÓLOGA, M.Sc. PH.D. PROFESORA ASOCIADA, DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA, FACULTAD DE CIENCIAS. CENTRO COLOMBIANO DE GENÓMICA Y BIOINFORMÁTICA DE AMBIENTES EXTREMOS – GEBIX, PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA, BOGOTÁ, COLOMBIA

diego.guzman@upb.edu.co

CLAUDIA ALFARO VALERO

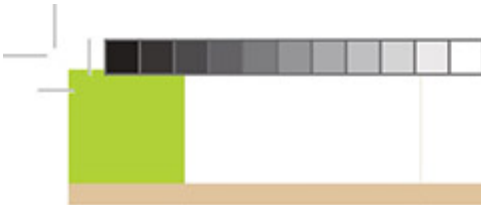
QUÍMICA. ESPECIALISTA EN GEOTERMIA. JEFE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y EXPLORACIÓN DE RECURSOS GEOTÉRMICOS SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, BOGOTÁ, COLOMBIA

calfaro@sgc.gov.co

MARÍA MERCEDES ZAMBRANO

MICROBIÓLOGA, PH.D. DIRECTORA CIENTÍFICA CORPORACIÓN CORPOGEN, BOGOTÁ, COLOMBIA. CENTRO COLOMBIANO DE GENÓMICA Y BIOINFORMÁTICA DE AMBIENTES EXTREMOS – GEBIX

mzambrano@corpogen.org



Dedicado al Dr. Michael Tistl, quien en el disfrute de construir y compartir el conocimiento, ha abierto el camino para divulgar la ciencia al servicio de las nuevas generaciones en Colombia.

Resumen

En Colombia existen alrededor de trescientos manantiales termales localizados principalmente en las cordilleras Central y Oriental, cuyo origen está relacionado con sistemas hidrotermales de volcanes o con la infiltración profunda de aguas de precipitación. La mayor concentración de manantiales termales se registra sobre la Cordillera Central, en el área del Complejo Volcánico Cerro Bravo – Cerro Machín. Estos recursos hídricos con sus características geográficas, físicas y químicas particulares, son interesantes como fuentes de actividad geotérmica y como reservorios de vida bajo condiciones extremas, idóneos para bioprospección y para el aprovechamiento sostenible de nuestra biodiversidad.

Definición

Los manantiales termales son descargas naturales de agua subterránea con temperatura superior a 4°C por encima de la temperatura media ambiental. La fuente de calor proviene del calor al interior del planeta Tierra, el cual genera un gradiente geotérmico de temperatura que incrementa con la profundidad. La variación en temperatura depende principalmente del gradiente geotérmico, la profundidad de infiltración del agua de lluvia (o agua meteórica), la velocidad de flujo del agua y de procesos que sufre el agua en su regreso a la superficie, como mezcla con agua subterránea fría almacenada o en circulación, a niveles menos profundos. Los manantiales termales que emergen con temperatura cercana al punto de ebullición del agua generalmente están relacionados con reservorios de agua caliente, localizados alrededor de rocas en contacto con el magma de los volcanes, en donde el gradiente geotérmico es anormalmente alto.

Tipos de manantiales termales

Existen varios sistemas de clasificación de los manantiales termales. Uno de los más simples y utilizados está basado en la composición química relativa de los iones negativos (aniones) de mayor concentración en aguas naturales: bicarbonato, sulfato y cloruro. Los tipos de agua identificados según esta clasificación son bicarbonatado, sulfatado y clorurado, aunque también hay mezclas de estos diferentes tipos de agua. La composición del agua de los manantiales termales depende de la composición y solubilidad de los materiales del medio a través del cual el agua circula, de la temperatura, del tiempo de circulación y de procesos que ocurren en el subsuelo, tales como diluciones, mezclas y cambios de presión.



Las aguas bicarbonatadas son posiblemente el tipo de agua subterránea y termal más frecuente y, generalmente, están relacionadas con circuitos de agua someros. Éstas se originan en diversos ambientes geológicos y varían dependiendo de la fuente de bicarbonato: por disolución de gas carbónico (CO_2) ambiental del agua de infiltración, disolución de niveles calizas, disolución de CO_2 hidrotermal proveniente de la condensación de la mezcla de vapor y gases originados en reservorios (masa de rocas permeable con capacidad para almacenar fluidos) de agua caliente.

Las aguas termales cloruradas están relacionadas con circuitos profundos de flujo subterráneo y difieren de los manantiales salados fríos generados por evaporación, cuyo origen es superficial. El fluido de las aguas termales cloruradas de circuitos profundos tiene el mayor tiempo de residencia en reservorios de agua caliente y, como consecuencia, son generalmente las aguas de mayor temperatura, con composición relativamente constante rica en sales (particularmente, cloruro, sodio, litio, boro y sílice $-\text{SiO}_2$). Generalmente la composición de este tipo de manantiales refleja condiciones de equilibrio con los minerales de la roca del reservorio.

Las aguas termales sulfatadas son, frecuentemente, de pH ácido y están relacionadas con circuitos de aguas superficiales. Hay al menos dos tipos de aguas termales sulfatadas: moderadamente ácidas ($\text{pH} > 2-3$), con bajas concentraciones de cloruro, y altamente ácidas ($\text{pH} < 2$) con altas concentraciones de cloruro. El primer tipo de aguas sulfatadas se origina en los sistemas hidrotermales, a partir de la condensación de vapor y oxidación de sulfuro de hidrógeno (H_2S) a sulfato (SO_4), o a partir de la oxidación de azufre nativo (también a SO_4). El segundo tipo de agua sulfatada se origina en los sistemas magmáticos, a partir de la condensación y disolución de gases ricos en dióxido de azufre (SO_2), el cual también se oxida a sulfato (SO_4) y cloruro de hidrógeno (HCl).

“...el uso de los recursos geotérmicos en Colombia se ha circunscrito a usos recreativos y, en muy pequeña escala, a usos terapéuticos.”

Usos de las aguas termales

Las aguas termales son un tipo de manifestación superficial de la existencia de recursos geotérmicos hidrotermales. Si las condiciones geológicas (permeabilidad) permiten el almacenamiento de agua caliente (y otros fluidos), se habla de la existencia de un reservorio. El fluido caliente transportado del reservorio a la superficie, a través de pozos, puede ser aprovechado, de acuerdo con su temperatura, en múltiples usos, como obtención de energía térmica o en generación eléctrica (Quintanilla & Fischer, 2003), como fuente para extracción de minerales (zinc, litio y sílice, entre otros) o como fuente potencial de suministro de agua potable. Además, los manantiales termales se utilizan ampliamente en el mundo para fines recreativos, balneología (uso terapéutico), cultivo de peces y usos agrícolas.

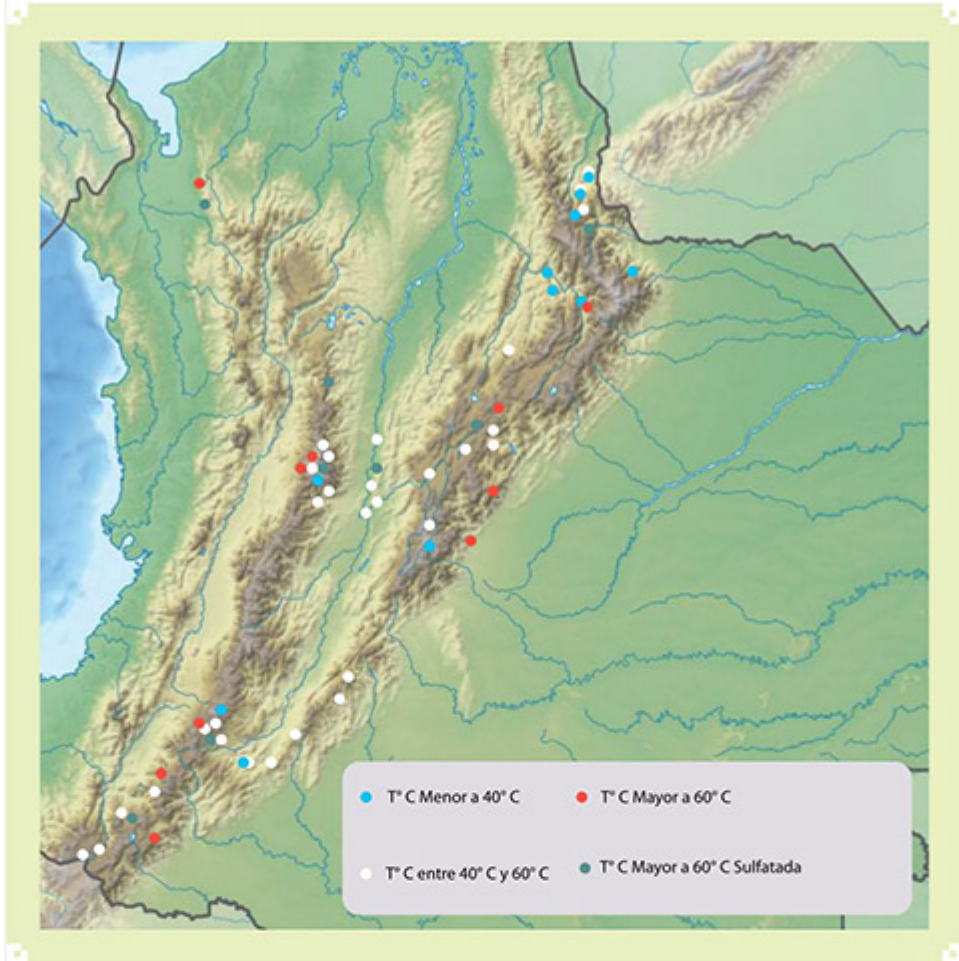
En Colombia, el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente (Decreto 2811 de 1978) contempla como posibles usos de los recursos geotérmicos la producción de energía, producción de calor directo para fines industriales, o de refrigeración o calefacción, producción de agua dulce y extracción de su contenido mineral. Sin embargo, el uso de los recursos geotérmicos en Colombia se ha circunscrito a usos recreativos y, en muy pequeña escala, a usos terapéuticos.

Manantiales termales de Colombia

De acuerdo con el Inventario Nacional de Manantiales Termales de Colombia (SGC, 2013), los manantiales termales están localizadas principalmente en la zona Andina (Figura 1).

Figura 1.

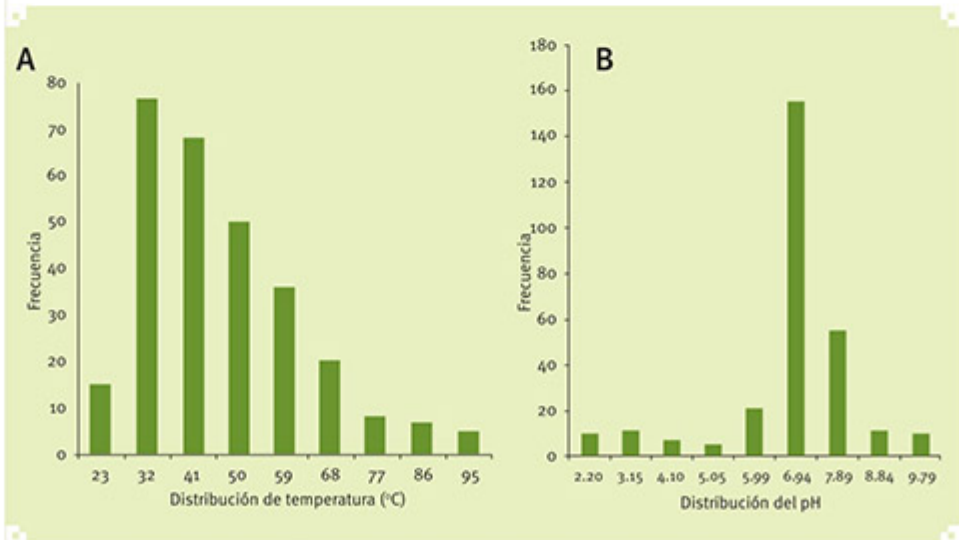
Localización de los manantiales termales de Colombia. Fuentes: mapa base Google Earth; manantiales termales: SGC, 2013.



La mayoría de los manantiales (aproximadamente 53%) registra temperaturas inferiores a 40°C, 33% entre 40 y 60°C y cerca del 13% tienen temperatura >60°C (Figura 2).

Figura 2.

Distribución de temperaturas (A) y pH (B) en manantiales termales de Colombia. Fuente SGC, 2013.





Los manantiales de sistemas hidrotermales del complejo Cerro Bravo – Cerro Machín y de la Cadena volcánica de los Coconucos tienen las temperaturas más elevadas ($>90^{\circ}\text{C}$) (Figura 3A). La composición química y el pH también registran variaciones significativas. Tomando como referencia la composición relativa de aniones dominantes, 44% de los manantiales termales es de tipo bicarbonatado, 24% de tipo clorurado, 22% de tipo sulfatado y alrededor del 9% de manantiales presentan diferentes mezclas. Cerca de 75% de los manantiales termales registran pH en el rango de neutralidad (6-8) (Figura 2B). Por encima de pH 8, se encuentra alrededor del 7% de los manantiales, con un máximo 9,79 en la Piscina Morelia, Saladoblanco (Huila). Los manantiales restantes registran pH moderadamente ácido (entre 2 y 6) y altamente ácido (<2). Los manantiales con pH inferior a 2 se localizan en el Nevado del Ruiz y el Volcán Puracé. En estos manantiales, la concentración de sulfatos y cloruros, entre otras especies disueltas, sugieren la contribución de gases del sistema magmático (Giggenbach et al., 1990) (Figura 3B).

Existe también variación en la conductividad eléctrica, propiedad física proporcional a la concentración de especies iónicas en solución, con un rango de variación entre 30 y 53100 uS/cm o microSiemens por cm (unidades utilizadas para expresar la conductividad eléctrica del agua). La mitad de los manantiales colombianos registran una conductividad menor a 2000 uS/cm, característica de aguas dulces. Los manantiales con mayor conductividad eléctrica (entre 32000 y 53100 uS/cm), y por consiguiente más salinos, corresponden a los del área geotérmica de Paipa. La concentración de sales, principalmente sulfato de sodio, es tan elevada que causa eflorescencias (formación de polvo del mineral por deshidratación) de sal en la superficie, como se ilustra en la fotografía de la Figura 3C.

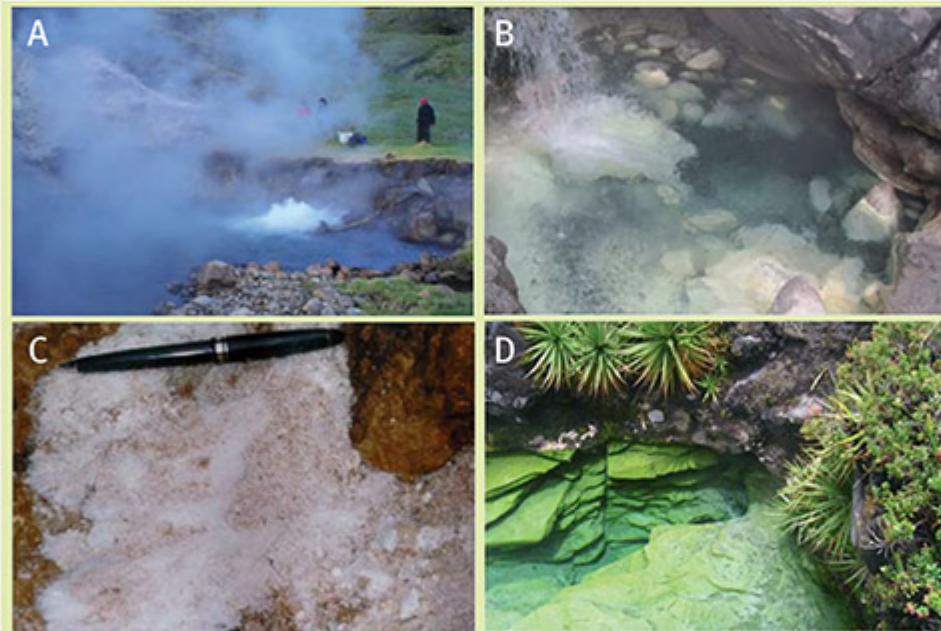



Figura 3.

Manantiales termales en Colombia. A. Termal de Pozo Azul (90°C), Cadena volcánica de los Coconucos. B. Aguas Calientes, Nevado del Ruiz. Manantial ácido con evidente contribución magmática (pH= 1,25, sulfatos >10000 mg/l, cloruros >1200 mg/l). C. Área geotérmica de Paipa: Eflorescencias de sulfato de sodio, caracterizado por difracción de rayos X como mirabilita y tenardita. Tomado de Alfaro et al., 2005. D. Termal El Coquito en el Parque los Nevados.

Aspectos legales de las aguas termales

El Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente (Decreto 2811 de 1974) define las aguas termales como los recursos geotérmicos con temperatura inferior a 80°C y establece que “la nación se reserva la propiedad de aguas minerales y termales y su aprovechamiento se hará según lo establezca el reglamento”. El decreto 1541 de 1978, establece que la autoridad ambiental (en su momento el Instituto de los Recursos Naturales Renovables y del Ambiente - INDERENA), tiene a su cargo otorgar concesiones de aguas minerales y termales con fines medicinales y turísticos. En la actualidad, las concesiones de aguas termales son otorgadas por las Corporaciones Autónomas Regionales.



De acuerdo con el decreto 4131 de 2011, el Servicio Geológico Colombiano (SGC) tiene la competencia para hacer la identificación, el inventario y la caracterización de las zonas de mayor potencial de recursos naturales del subsuelo, entre ellos, recursos geotérmicos. Los manantiales termales forman parte de los sistemas geotérmicos y en consecuencia, el SGC está llevando a cabo el inventario nacional de manantiales termales de Colombia.

En la actualidad cursa un proyecto de ley en el Senado de la República por el cual se dictarían “normas que promueven, regulan, orientan y controlan el aprovechamiento terapéutico y turístico de los balnearios termales y el uso de las aguas termales”.

Los manantiales termales: hábitats ricos en biodiversidad

A pesar de que muchos manantiales termales tienen condiciones extremas (por ejemplo, alta temperatura y/o pH ácido), en ellos se encuentran diversas formas de vida, en su mayoría organismos microscópicos que pasan desapercibidos a simple vista y requieren de técnicas de biología molecular para su detección. Estos microorganismos pertenecen primordialmente a dos de los tres dominios de la vida, llamados Archaea y Bacteria, aunque también puede haber organismos como algas y hongos microscópicos pertenecientes a la tercera rama de la vida, Eucarya (Wilson et al. 2008). Entre más extremo sea el manantial termal, como por ejemplo más alta la temperatura del agua, más tienden a predominar organismos del dominio Archaea, indicando una capacidad metabólica consonante con vida bajo condiciones bastante extremas e inhóspitas.

“los manantiales termales representan sitios ideales para estudios ecológicos y sobre la interacción y evolución de especies microbianas.”

En las últimas décadas ha crecido el interés por estudiar estas formas de vida microbiana (Bacterias y Archaeas) capaces de prosperar en ambientes extremos, como estos manantiales termales. Los mecanismos de supervivencia y adaptación de estos microorganismos que habitan ambientes extremos, conocidos también como extremófilos, resultan fascinantes y nos aproximan al entendimiento del origen de la vida en la Tierra, donde las primeras formas de vida muy probablemente se dieron en un ambiente hostil y caliente, así como en otros planetas, esto último denominado *exobiología*. El

estudio de la vida microbiana de los manantiales termales también tiene impacto en otros campos. Por ejemplo, los termales ácidos han facilitado el conocimiento y manejo ambiental de áreas mineras, por su similitud con un drenaje ácido de minas (Wilson et al. 2008). Por otro lado, los organismos de manantiales termales poseen enzimas o catalizadores biológicos (p.e. lipasas, amilasas, celulasas, y ADN polimerasas) estables a altas temperaturas. Estos catalizadores biológicos pueden romper moléculas complejas como grasas, almidones, celulosa o sintetizar ácidos nucleicos como el ácido desoxirribonucleico (ADN) y son ampliamente utilizadas hoy en día en industria, medicina, agricultura y en general en biotecnología (Song et al. 2009). El ejemplo práctico más reconocido tal vez es el uso de la enzima DNA polimerasa de la bacteria termofílica *Thermus aquaticus*, aislada de un manantial termal del Parque Natural Yellowstone en los Estados Unidos. Esta enzima es utilizada masivamente para la amplificación de DNA en laboratorios de biología molecular en la reacción de PCR (reacción en cadena de la polimerasa). Finalmente, los manantiales termales representan sitios ideales para estudios ecológicos y sobre la interacción y evolución de especies microbianas (Bacterias y Archaeas), factores importantes para el sostenimiento de estos ecosistemas.

La diversidad microbiana que se puede encontrar en estos ambientes varía en función de las principales características abióticas de cada termal. Dentro de los manantiales termales más estudiados por su biodiversidad se destacan los manantiales del Parque Natural de Yellowstone en Estados Unidos, de



Islandia, Nueva Zelanda y de la península de Kamchatka en Rusia (Gumerov et al 2011; Withaker, 2011; Tobler & Benning, 2011), entre otros. Muchos de estos estudios comienzan investigando la estructura de las comunidades microbianas presentes, mediante técnicas moleculares y secuenciación del ADN, para luego aproximarse al entendimiento de la distribución biogeográfica de microorganismos, las relaciones entre microorganismos de una comunidad y entre éstos y su hábitat. Estos estudios han mostrado que la estructura y la capacidad metabólica de una comunidad microbiana está correlacionada generalmente con parámetros geoquímicos específicos como la temperatura, la salinidad, el pH y la disponibilidad de fuentes de energía (Tobler & Benning, 2011; Sayeh et al, 2010). La aparente estabilidad de estos factores abióticos en manantiales termales por largos periodos de tiempo constituye una ventaja interesante al momento de desarrollar y evaluar más rigurosamente hipótesis ecológicas en hábitats semiestables para los microorganismos (Wilson et al 2008). Es importante tener en cuenta, sin embargo, que también hay factores históricos, como eventos climáticos, cambios estacionales y erupciones volcánicas, y barreras geográficas que influyen sobre la composición de la comunidad microbiana en estos hábitats.

Diversidad microbiana en manantiales termales de Colombia


A pesar de tener un reciente inventario de las características geológicas y geoquímicas de manantiales termales en nuestro país (SGC, 2013), es poco lo que se conoce acerca de sus comunidades biológicas. Estudios recientes, sin embargo, han incursionado en este campo con el fin de conocer y hacer posibles exploraciones biotecnológicas de estas comunidades microbianas. En general se ha visto que algunas de los grupos microbianos presentes se asemejan a organismos identificados en sitios similares en otros lugares del mundo, pero que también existen nuevos grupos y especies no reportados anteriormente.

El sistema geotérmico de Paipa en la cordillera oriental (Departamento de Boyacá), presenta 22 manantiales termales con temperaturas máximas alrededor de 80°C y pH entre 3.6 y 7.4 y contenidos de sales que varían entre 0.05 y 56g.l⁻¹ (Alfaro, 2005). En estudios sobre diversidad microbiana en estos termales de Boyacá se han identificado al menos 4 filos bacterianos, la mayoría involucrada en el ciclo del azufre. Entre estos cabe mencionar los géneros *Thermoanaerobacter*, *Anoxybacillus*, *Caloranaerobacter*, *Desulfomicrobium*, *Geotoga*, *Hydrogenophilus*, *Desulfacinum* y *Thermoanaerobacterium* (Rubiano-Labrador et al.). En estos estudios se hallaron e identificaron nuevas especies de bacterias

termofilicas, entre ellas dos bacterias sulfato reductoras de los géneros *Desulfomicrobium* y *Desulfosoma* (Theveneau et al., 2007; Baena et al. 2011), aumentando así el conocimiento de la biodiversidad asociada a estos importantes recursos hídricos. Por otra parte, un análisis de la diversidad microbiana de los manantiales termales de Risaralda (Santa Rosa de Cabal), que se caracterizan por ser manantiales bicarbonatados con temperatura alrededor de 60°C y pH ligeramente ácido, también mostró una diversidad similar a lo previamente reportado en otros manantiales termales, así como grupos que no han sido previamente descritos, como es la nueva especie bacteriana termofílica *Caloramator quimbayensis* del filum Firmicutes (Rubiano-Labrador, et al. 2013).

Finalmente, el centro de Genómica y Bioinformática de Ambientes Extremos (Gebix) ha analizado en los últimos años las comunidades de manantiales termales en el Parque Nacional Natural (PNN) de los Nevados. Una primera aproximación en el termal conocido como El Coquito (Figura 3D) identificó una gran diversidad taxonómica de microorganismos, con predominancia de Bacterias y con potencial metabólico para sobrevivir y prosperar en ambientes acuáticos con pocos nutrientes y pH bajo (2,7) (Bohórquez et al.,

“...los Manantiales termales son recursos hídricos importantes que deben ser conservados y aprovechados.”



2012). La vida en este manantial es posible gracias a las diversas poblaciones presentes que en conjunto logran generar energía y captar nutrientes suficientes para mantener la comunidad. En particular, algunos grupos (denominados fotoautótrofos) pueden captar energía solar para fijar el dióxido de carbono (CO₂) y generar energía que luego puede ser utilizada por otros organismos del ecosistema. En este termal también parece haber algas (pertenecientes a Eucarya) que podrían contribuir a la generación de energía a través de la fotosíntesis. Otros microorganismos (denominados quimiolitótrofos o quimioautótrofos) complementan estas actividades metabólicas generando energía, no del sol sino de compuestos inorgánicos como hierro (Fe²⁺) y formas reducidas de azufre, ambos presentes en este hábitat. Un análisis más profundo de esta comunidad, mediante una aproximación metagenómica en la cual se secuencian y analiza el ADN total, identificó diversas rutas metabólicas involucradas en la utilización de compuestos y generación de energía que da soporte a los hallazgos iniciales basados en caracterización taxonómica de la comunidad (Jiménez et al., 2012).

En conclusión, los Manantiales termales son recursos hídricos importantes que deben ser conservados y aprovechados. Los estudios de comunidades microbianas en manantiales termales en Colombia muestran que en estos ambientes extremos hay vida, que esta vida es predominantemente microbiana y perteneciente a la rama de Bacteria, y que existen similitudes y diferencias con comunidades en manantiales de otros lugares del planeta. El siguiente paso es conocer más acerca de las capacidades metabólicas de estos microorganismos para profundizar en sus mecanismos de adaptación y posibles usos en biotecnología y aplicaciones ambientales o industriales.

Referencias

- Alfaro, C. M.; Velandía, F.; Cepeda, H.; Pardo, N.; Vásquez, L.; Espinosa, O. (2005), *Modelo conceptual preliminar del sistema geotérmico de Paipa: Informe técnico*, Bogotá, INGEOMINAS, 42 p.
- Baena, S.; Perdomo, N.; Carvajal, C.; Patel B.K.C. (2011), *Desulfosoma caldarium* gen. nov. sp. nov., a thermophilic sulfate-reducing bacterium from an Andean terrestrial hot spring, *Int J Syst Evol Microbiol* 61: 732–736.
- Bohórquez, L.C.; Delgado-Serrano, L.; Lopez, G.; Osorio-Forero, C.; Klepac-Ceraj, V.; Kolter, R.; Junca, H.; Baena, S.; Zambrano, M.M. (2012), In-depth Characterization via Complementing Culture-Independent Approaches of the Microbial Community in an Acidic Hot Spring of the Colombian Andes, *Microb Ecol* 63: 103-115.
- Colombia (1974), Decreto Ley 2811. Por el cual se dicta el *Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente*.
- Colombia (1978), Decreto 1541. Por el cual se reglamenta la Parte III del Libro II del Decreto - Ley 2811 de 1974: "De las aguas no marítimas" y parcialmente la Ley 23 de 1973.
- Colombia (2011), *Decreto 4131. Por el cual se cambia la Naturaleza Jurídica del Instituto Colombiano de Geología y Minería (Ingeominas)*.
- Giggenbach, W. F.; García, N.; Londoño, A.; Rodríguez, L.V.; Rojas, N.; Calvache, M. L. (1990), The Chemistry of fumarolic vapor and thermal-springs discharges from the Nevado del Ruiz volcanic-magmatic-hydrothermal system, Colombia, *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 42: 13-39.
- Gumerov, V.M.; Mardarov, A.V.; Beletsky, A.V.; Bonch-Osmolovskaya E.A.; Ravin, N.V. (2011), Molecular analysis of Microbial Diversity in the Zarvarzin Spring, Uzon Caldera, Kamchatka, *Microbiology* 80: 244-251.
- Jimenez, D.J.; Andreote, F.D.; Chaves, D.; Montana, J.S.; Osorio-Forero, C.; Junca, H. Zambrano, M.M.; Baena, S. (2012), Structural and functional insights from the metagenome of an acidic hot spring microbial planktonic community in the Colombian Andes, *PLoS One* 7: e52069.
- Quintanilla, A. F. y Fischer, D. (2003), *La energía eléctrica en Baja California y el futuro de las renovables: una visión multidisciplinaria*, Baja California, México, Universidad Autónoma de Baja California, 262 p.

- Rubiano-Labrador, C.; Baena, S.; Díaz-Cárdenas, C.; Patel, B.K.C. (2013). *Caloramator quimbayensis* sp. nov., an anaerobic, moderately thermophilic bacterium isolated from an Andean terrestrial hot spring, *Int J Syst Evol Microbiol* 63: 1396-1402.
- Rubiano-Labrador, C.; López, G.; Díaz-Cárdenas, C.; Gómez, J.; Baena, S. [en preparación], *Andean hot springs, reservoir of biodiversity: isolation and characterization of anaerobic thermophilic bacteria*.
- Sayeh, R.; Birrien, J.L., Alain, K.; Barbier, G., Hamdi, M.; Prieur, D. (2010), Microbial diversity in Tunisian geothermal springs as detected by molecular and culture-based approaches, *Extremophiles* 14: 501-514.
- Servicio Geológico Colombiano. (SGC, 2013), *Inventario nacional de manantiales termales de Colombia*, Base de datos.
- Song, Z.; Zhi, X., W. Li.; Jiang, H., Zhang, C. (2009), Actinobacterial diversity in hot springs in Tengchong (China), Kamchatka (Russia) and Nevada (USA), *Geomicrobiology Journal* 26: 256-263.
- Thevenieau, F.; Fardeau, M-L.; Ollivier, B.; Joulian, C.; Baena, S. (2007), *Desulfomicrobium thermophilum* sp. nov., a novel thermophilic sulphate-reducing bacterium isolated from a terrestrial hot spring in Colombia, *Extremophiles* 11: 295-303.
- Tobler, D.J.; Benning, L. (2011), Bacterial diversity in five Iceland geothermal waters: temperature and sinter growth rate effects, *Extremophiles* 15: 473-485.
- Whitaker, R.J. (2011), A New Age of Naturalists, *Microbe* 6:491-494.
- Wilson, M.; Siering, P.; White, C.L.; Hausser, M.; Bartles, A. (2008), Novel Archaea and Bacteria dominate stable microbial communities in North America's largest hot spring, *Microb Ecol* 56: 292-305.



pagosonline

El pago seguro en internet

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

Contáctanos ya en:
www.pagosonline.com
 P B X (+1) 756 31 26



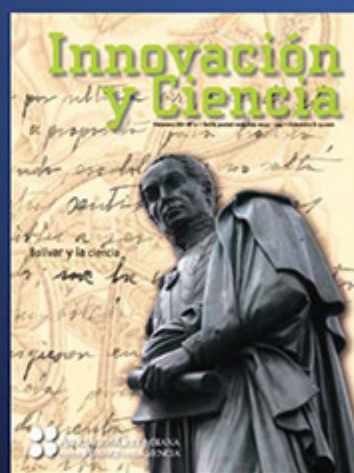
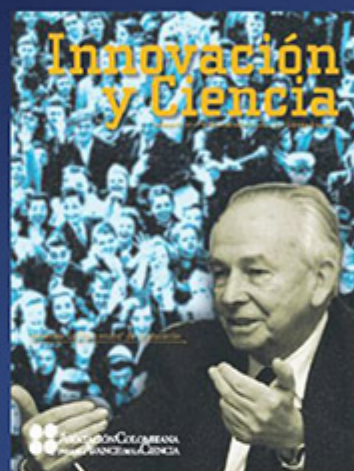
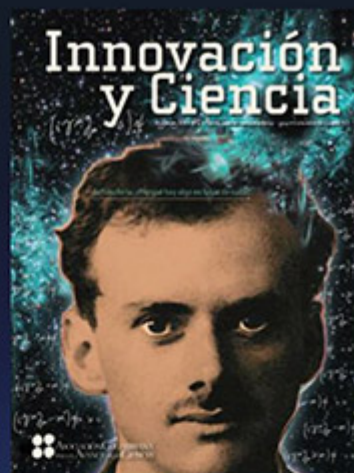
Recibimos tus pagos por medio de:



Suscríbese a la Revista Innovación y Ciencia

La Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia, ACAC, entidad privada sin ánimo de lucro, que desde hace más de 42 años trabaja por la ciencia, la tecnología, la sociedad y la innovación en Colombia, publica trimestralmente su revista *Innovación y Ciencia*, cuyo objetivo primordial es informar en un lenguaje sencillo los últimos adelantos realizados por importantes científicos e investigadores del país y del mundo.

Esta publicación, que circula desde 1992, con un tiraje de 5.000 ejemplares, está dirigida a empresarios, profesionales, científicos, docentes, estudiantes, y en general a todos los lectores no especializados que buscan una ilustración seria, amena y accesible sobre estos temas.



Precios

- Valor de la suscripción por un año, fuera de Bogotá \$65.000, incluye costo de envío.
- Valor de la suscripción por un año, para Bogotá \$55.000, incluye costo de envío.
- Consignación en: **BANCO DE OCCIDENTE CUENTA DE AHORROS N° 26880746 - 8**, (formato recaudo en línea) a nombre de La Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia, solicitamos enviar copia de la consignación con el sello del banco legible al correo electrónico: innovacionyciencia@acac.org.co
- Usted puede cancelar también con tarjeta débito o crédito.

Informes

Carrera 29 No 39A - 75, Barrio la Soledad
Teléfonos: 2682350 - 2446575
E-mail. innovacionyciencia@acac.org.co
divulgacion@acac.org.co

Publicación de la

 **ASOCIACIÓN COLOMBIANA
PARA EL AVANCE DE LA CIENCIA**
www.acac.org.co