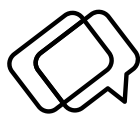




COLOQUIO  
**CIENCIA Y  
SOCIEDAD**

**CALIDAD  
DEL AGUA:  
SALUD DE LOS  
ECOSISTEMAS Y  
SALUD HUMANA**





COLOQUIO  
**CIENCIA Y  
SOCIEDAD**

# **CALIDAD DEL AGUA: SALUD DE LOS ECOSISTEMAS Y SALUD HUMANA**



*Coloquio Ciencia y Sociedad*

*Calidad del agua: Salud de los ecosistemas y salud humana*

Primera edición, marzo 2021

© Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC)

Calle Chinchón 867, Lima 27

San Isidro, Lima, Perú

Teléfono: (51-1) 399-0030

[www.concytec.gob.pe](http://www.concytec.gob.pe)

Presidente del CONCYTEC

Benjamín Marticorena

Coordinación general del coloquio y de esta edición

Myra E. Flores, Neydo Hidalgo

Edición: Sofía Rodríguez, María Luisa de la Rocha

Diseño y diagramación: José Rodríguez

ISBN: 978-9972-50-196-8

Está permitida la reproducción o traducción total o parcial de esta obra previo aviso al CONCYTEC y siempre y cuando se cite la fuente.

## Presentación

Con especial satisfacción, el Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (CONCYTEC) pone en sus manos esta publicación que recoge las exposiciones ofrecidas durante los siete días del coloquio *Ciencia y Sociedad*, denominado *Calidad del agua: Salud de los ecosistemas y salud humana*, coorganizado por la Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS), la Academia Nacional de Ciencias (ANC) y el CONCYTEC.

Es de destacarse que esta es la novena edición del coloquio *Ciencia y Sociedad*, desde setiembre de 2017, cuando se inició este espacio de diálogo, y la cuarta en formato virtual. Ha sido, además, la primera edición internacional, pues contó con la participación de 13 especialistas de Asia, Europa y las Américas, y de 16 especialistas locales. Esto fue posible gracias a la colaboración de la IANAS y de la ANC, y de sus redes de representantes, expertos y contactos en el mundo.

Para este coloquio en particular, la convocatoria de expositores de varias partes del mundo fue clave para abordar pluralmente un tema que, siendo un desafío global de la mayor importancia para las poblaciones de los países, lo es más aún en las circunstancias de emergencia sanitaria que se viven.

Siendo esencial para la vida y la prosperidad de las personas, las reservas de agua y su preservación y gestión son asuntos de políticas de Estado, con acciones transversales que involucran a sus diferentes actores y organismos. Su atención requiere enfrentar múltiples retos para conseguir y mantener agua de calidad, retos que le corresponde enfrentar al aparato del Estado, pero también al conjunto de la sociedad organizada y sensibilizada en el uso racional, la defensa y la valoración de los recursos hídricos. Regular estas relaciones complejas entre grupos diversos mediante criterios de equidad, accesibilidad y sustentabilidad —y sobre la base de una gestión integrada— es, en suma, la gobernanza del agua que se requiere.

La gestión y la diplomacia global en torno a la calidad del agua es un requerimiento de urgente atención, como requisito para la salud humana y de los ecosistemas del planeta que compartimos con las demás especies.

Generar más espacios de investigación y procesos de diálogo y negociación sobre el recurso hídrico, con el objetivo de conciliar intereses entre regiones y países, es un notable paso para el aseguramiento y la preservación de su calidad. Y es aquí donde intervienen los sistemas nacionales de ciencia y tecnología, y las organizaciones de la sociedad civil.

Es necesario fortalecer el concepto de acceso al agua de calidad como un derecho natural de las personas y como el recurso más valioso para el progreso de los países. Debemos pensar en cómo asegurar agua para el consumo humano directo y para la agricultura, tanto pequeña como extensiva; para la generación hidroeléctrica y geotermal; para la minería ambientalmente responsable; para el crecimiento de la acuicultura, y para decidir sobre el más adecuado marco institucional de acción. Para todo ello, el conocimiento científico debe ser conocido, avalado y promovido; y este coloquio ha contribuido de manera notoria con esta tarea.

El CONCYTEC ha promovido permanentemente los estudios que involucran el recurso hídrico de calidad, como una línea prioritaria de financiamiento. En los últimos años ha respaldado proyectos científicos o tecnológicos que mejoran el uso, la calidad y la distribución del agua. El desafío es muy grande y lo es más en países en los que, como en el Perú, la concentración de la población es mayor en regiones geográficas en las que el agua es escasa: las grandes ciudades costeras.

Esta publicación transmitirá a los interesados las visiones de los expositores del coloquio, en circunstancias en las que crecen la población mundial, la urbanización y las necesidades energéticas, causando un estrés sin precedentes sobre los recursos hídricos. Estamos complacidos de haber contribuido con este necesario diálogo.

Benjamín Marticorena Castillo  
Presidente de CONCYTEC

## Prólogo

El agua está en el epicentro del desarrollo y es prioridad en la agenda de la mayoría de los países. De ahí la importancia del coloquio “Calidad del agua: Salud de los ecosistemas y salud humana”, que se desarrolló en enero de 2021, en pleno Decenio Internacional para la Acción “Agua para el Desarrollo Sostenible”, 2018-2028.

El agua nos rodea, el agua nos une, pero sus desafíos son gigantescos, a nivel multidimensional, intersectorial, intercomunal y también familiar e individual. El agua es el elemento más precioso de la naturaleza; es vital para nuestro planeta; es sustento de la vida y, sin embargo, es un elemento muy frágil. Muchos de nuestros países sufren grandes asimetrías. Donde hay cantidades impresionantes de agua, como en la Amazonía, las poblaciones no acceden a agua segura; donde se desarrollan ciudades con centros de ciencia, tecnología e innovación (CTI) muy sofisticados, las periferias pobres no tienen agua segura en sus viviendas y menos aún saneamiento.

Cada día, la severa y durísima crisis sanitaria del covid-19 nos enseña que no podemos relegar el agua. Es fundamental para todas las actividades económicas y vital para la salud de los ecosistemas y la salud humana. Así lo ha subrayado en 2019 el importante Informe de Evaluación Global de la Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES). Algunos de los desafíos del agua señalados por organismos especializados son los siguientes:

- 2000 millones de personas carecen de acceso a servicios de agua potable gestionados de manera segura (OMS/Unicef, 2019).
- Más de la mitad de la población —4200 millones de personas— carece de servicios de saneamiento gestionados de forma segura (OMS/Unicef, 2019).
- 297 000 niños menores de cinco años mueren cada año debido a enfermedades diarreicas causadas por las malas condiciones sanitarias o agua no potable (OMS/Unicef, 2019).
- 2000 millones de personas viven en países que sufren escasez de agua (ONU, 2019).

- El 90 % de los desastres naturales están relacionados con el agua (Oficina de Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres).
- El 80 % de las aguas residuales retornan al ecosistema sin ser tratadas o reutilizadas (Unesco, 2017).

Ante esta realidad, no podemos quedarnos indiferentes. Todos sabemos que la inversión en ciencias del agua, y en educación y cultura del agua es sumamente restringida. A pesar de ello, la comunidad científica de las ciencias del agua es grande, interdisciplinar, transdisciplinar, constructora de puentes entre ciencias del agua y capacitación, pero también entre ciencias del agua y políticas públicas, innovaciones, tecnologías con trabajos academias-empresas.

Como punto focal del Programa de Agua de la Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS) y en mi calidad de vicepresidenta de la Academia Nacional de Ciencias del Perú, quiero agradecer a la IANAS por su decidido y continuo apoyo y trabajo en pro de las ciencias del agua. La IANAS es una red regional de academias de ciencias, creada para apoyar la cooperación hacia el fortalecimiento de la ciencia y la tecnología como herramientas para promover investigación y desarrollo, prosperidad y equidad en las Américas; algunos de sus objetivos principales son los siguientes:

- Apoyar en la construcción de capacidades científicas nacionales a través del reforzamiento de las relaciones en ciencia y tecnología entre los países de las Américas;
- Cooperar en la construcción de capacidades en las academias de ciencias de la región a través del intercambio de información y experiencia;
- Apoyar en la creación y establecimiento de nuevas academias de ciencias en los países que así lo requieran;
- Influir en el proceso de toma de decisiones científicas en las Américas, con el objeto de promover la prosperidad y la equidad en el hemisferio.

La IANAS está formada por diferentes programas: Agua, Mujeres en la Ciencia, Energía, Educación en las Ciencias, Alimentación y Nutrición, y Desarrollo de Capacidades. Estos programas están integrados por puntos focales, que son personas representantes de las academias de ciencias de las Américas.

El funcionamiento del Programa de Agua de la IANAS es posible gracias al apoyo de su secretaria general, ubicada en Córdoba, Argentina, y al

trabajo continuo de sus dos copresidentes, Dr. Henry Vaux y Dra. Katherine Vammen, quienes han apoyado este coloquio, por lo cual expreso mi público agradecimiento.

El Programa de Agua de la IANAS está presente en los eventos clave, donde la ciencia puede abrir horizontes nuevos para los decisores, así como el Foro Mundial del Agua, el Foro Abierto de Ciencias para América Latina y el Caribe (Cilac) y muchos otros. Por su importancia, me voy a permitir citar algunas de las publicaciones del Programa de Agua de la IANAS:

- *Diagnóstico del agua en las Américas*
- *Desafíos del agua urbana en las Américas. Perspectivas desde las Academias de Ciencias*
- *Calidad de aguas en las Américas*

Volviendo al coloquio sobre este tema trascendental, debo afirmar que, después de ocho meses de esfuerzo, este pudo concretarse gracias al continuo trabajo del CONCYTEC; de su actual presidente, Dr. Benjamín Marticorena; de la Dra. Fabiola León-Velarde, expresidenta; de los doctores Neydo Hidalgo y Myra Flores; y de todos los equipos. Sin ellos, no habría sido posible este coloquio.

De igual modo, quiero agradecer a la mesa directiva de la Academia Nacional de Ciencia por su apoyo, a la Pontificia Universidad Católica del Perú, la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, la Universidad Ricardo Palma, la Universidad Nacional de Ingeniería, la Universidad Nacional Agraria La Molina y a la Universidad Peruana Cayetano Heredia.

Ciertamente, nos ha convocado un desafío importante para el mundo, que es la calidad del agua, y cómo contribuye o limita de manera integrada la salud de los ecosistemas y la salud humana. Tengo la certeza de que aprenderemos mucho los unos de los otros, también la esperanza de que este coloquio sea punto inicial de nuevos intercambios entre equipos de CTI, y el sueño de que se publiquen los resultados.

Nicole Bernex

Academia Nacional de Ciencias /  
Pontificia Universidad Católica del Perú /  
Sociedad Geográfica de Lima





COLOQUIO  
**CIENCIA Y  
SOCIEDAD**

**CALIDAD DEL AGUA:  
SALUD DE LOS ECOSISTEMAS  
Y SALUD HUMANA**

Mesa 1

## **Calidad del agua y ecosistemas**

**Conferencista**

**Katherine Vammen**

IANAS / Universidad Centroamericana, Managua

**Panel**

**Francisco Dumler**

Sedapal

**Rosa M. Miglio Toledo**

Universidad Nacional Agraria La Molina

**Lucio Quiñones**

Centro Guaman Poma de Ayala , Cusco

**Moderador:**

**Neydo Hidalgo**

Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica  
(CONCYTEC)



## Calidad del agua y salud de los ecosistemas

**Katherine Vammen**

Interamerican Network of Academies of Sciences (IANAS) / Instituto de Investigación Interdisciplinaria en Ciencias Naturales de la Universidad Centroamericana, Managua

En el mundo, existe una gran preocupación por la disponibilidad de agua para el futuro, tanto para el consumo humano como para la sostenibilidad de los ecosistemas, la agricultura, la industria y otros usos. Para el consumo humano se reservará la de más alta calidad; para otros usos, como el riego, no serán necesarios los mismos parámetros. En el 2019, la IANAS publicó un informe en el cual señala que:

la calidad del agua se define en términos de las sustancias que contiene. Se dice que el agua es el solvente universal y, por ende, prácticamente toda el agua natural contiene algún agente externo que puede incluir nutrientes como el nitrógeno o el fósforo, así como otros tipos de productos químicos agrícolas y residuos de procesos industriales, muchos de los cuales pueden ser tóxicos para los seres humanos. Otros organismos: microbianos pueden asociarse con un saneamiento inadecuado, sedimentos y otros sólidos (IANAS, 2019).

¿Por qué es importante tener más información sobre la calidad del agua globalmente?

La población está creciendo y la demanda per cápita de agua está en aumento. A esto se agrega el cambio climático, que está reduciendo la cantidad de agua existente en algunas áreas del planeta. Por esto, ha adquirido más relevancia el uso del agua con suficiente calidad para los diferentes casos.

La expansión demográfica, la diversidad de industrias, la expansión de la agricultura, que actualmente consume el 70% del uso del agua, y otras actividades humanas, están causando problemas en la calidad del agua. Sobre este punto, deben actuar la ciencia y la política para generar más capacidad e información sobre los contaminantes, de modo de garantizar la calidad del agua necesaria para cada uso, trátase del consumo humano, industrial, agrícola o ambiental. La gestión eficaz de la calidad del agua es primordial para garantizar el suministro adecuado para todos los usos.

En esta línea, el tema de los ecosistemas acuáticos y los vertimientos adquieren una redoblada importancia. Generalmente, el concepto de manejo del agua se ha centrado en el balance hídrico de las diferentes cuencas, pero hoy su disponibilidad está condicionada por los impactos antropogénicos que afectan la calidad del recurso.

En el ámbito mundial, el deterioro de la calidad del agua ha pasado por un proceso de cambio que se ha desarrollado en paralelo a las modificaciones de las actividades humanas, el crecimiento de la población, la urbanización, la industrialización y los cambios progresivos en el uso de la tierra. Los contaminantes son cada vez más complejos y están directamente relacionados con la salud humana y con impactos importantes en los ecosistemas. Este proceso afecta los costos y metodologías para la purificación del agua y el tratamiento de aguas residuales en diferentes vertimientos y, desde luego, en los servicios de los ecosistemas.

### **Algo de historia sobre la calidad del agua**

El agua empezó a deteriorarse en el siglo XIX, con la contaminación fecal y orgánica, cuando su tratamiento no existía o estaba muy poco avanzado. La contaminación continuó y se incrementó en el siglo XX, con la presencia de metales con características especiales de bioacumulación en los ecosistemas acuáticos.

A partir de la década de 1960, con el aumento de la aportación de nutrientes a los cuerpos de agua receptores, se observaron procesos de eutrofización en todo el continente americano. Estos llegaron a niveles que provocaron la proliferación de cianobacterias, lo que dio lugar a la liberación de cianotoxinas en el agua de lagos y embalses. Desde los Grandes Lagos de América del Norte hasta los embalses y lagos de América del Sur, la preocupación del público fue en aumento y la rápida proliferación de los brotes de algas se hizo cada vez más objeto de estudio (Tundisi et al., 2015; Schindler, 1977; IANAS, 2019).

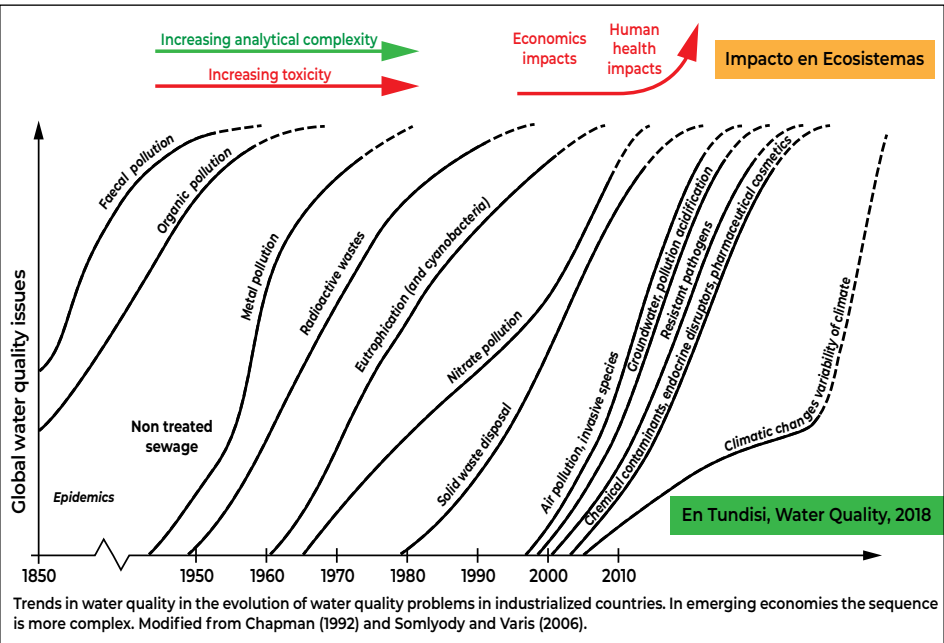
A partir de estas constataciones, se inicia la investigación de la calidad del agua. Después de algunas décadas de estudio e intentos de restauración, se hizo cada vez más evidente que tanto las fuentes puntuales como las no puntuales o difusas son fuentes importantes de contaminación. Esto quiere decir que pueden contaminar tanto los efluentes de una fábrica como la erosión causada por las actividades en las cuencas. Del mismo modo, se

puso atención en los contaminantes persistentes; así, los herbicidas e insecticidas y el uso incontrolado de fertilizantes se convirtieron en una fuente central de contaminación de aguas superficiales y subterráneas. Hoy existen nuevos riesgos de contaminantes emergentes, que se han evaluado y monitoreado poco en algunos países, y requieren de más investigación.

El profesor brasileño J. Tundisi (2015) elaboró un gráfico que muestra claramente cómo ha evolucionado en el tiempo la calidad del agua y su impacto en la salud humana, la economía y el ecosistema (figura 1).

**Figura 1**

*Historia y evolución de los problemas de la calidad de agua*



Con relación a los recursos hídricos internos renovables, el sistema global de información sobre la gestión de los recursos de agua, Aquastat, estima que:

En la mayoría de las regiones de las Américas, la disponibilidad de recursos hídricos es satisfactoria, como lo demuestran los recursos hídricos internos renovables (IRWR), calculados como la suma de las aguas superficiales, los escurrimientos y la recarga de aguas subterráneas per cápita por año, que son un indicador práctico de la disponibilidad de agua (FAO, 2015) (tabla 1).

Sin embargo, actualmente, los usos del agua se ven limitados por los diversos problemas relativos a su calidad.

**Tabla 1**

*Recursos hídricos internos renovables de los países de las Américas (FAO, 2015) (total per cápita)*

| Países de las Américas | m <sup>3</sup> /habitantes por año |
|------------------------|------------------------------------|
| 1 Guyana               | 317 942                            |
| 2 Surinam              | 228 464                            |
| 3 Belice               | 131 883                            |
| 4 Canadá               | 83 691                             |
| 5 Bolivia              | 60 744                             |
| 6 Chile                | 52 919                             |
| 7 Paraguay             | 50 277                             |
| 8 Colombia             | 44 836                             |
| 9 Brasil               | 41 505                             |
| 10 Venezuela           | 41 250                             |
| 11 Uruguay             | 40 991                             |
| 12 Panamá              | 38 428                             |
| 13 Ecuador             | 28 550                             |
| 14 Nicaragua           | 27 624                             |
| 15 Costa Rica          | 23 571                             |
| 16 Argentina           | 19 796                             |
| 17 Honduras            | 11 648                             |
| 18 Estados Unidos      | 9718                               |
| 19 Guatemala           | 8449                               |
| 20 El Salvador         | 4194                               |
| 21 México              | 3936                               |

### Importancia de los ecosistemas, la biodiversidad y su contribución al ser humano y su calidad de vida

Los ecosistemas consisten en diferentes especies que cohabitan y están vinculados unos con otros por medio de sus sistemas metabólicos. Cuando una especie está en proceso de extinción puede influir en la sobrevivencia de otras y producir colapsos en la diversidad e interrupciones en la red alimentaria

del ecosistema. Por tanto, es urgente tomar medidas en el ámbito global para rescatar sistemas de soporte vital tan cruciales para la humanidad.

Hay estudios recientes que señalan que “la salud de los ecosistemas está en proceso de deterioro más rápido que nunca. Estamos erosionando los mismos cimientos de la economía, los sustentos de la vida, seguridad alimentaria, salud y calidad de vida mundialmente” (IPBES, 2019).

En cuanto a la biodiversidad, esta es una contribución de la naturaleza a la población mundial; es un patrimonio común de la humanidad, que le aporta una red de seguridad para sustentar la vida (IPBES, 2019). Sin embargo, hay actividades, como la expansión territorial de la agricultura, que afectan los ecosistemas, la biodiversidad y algunos de sus componentes más importantes, como el agua y su calidad. La expansión de la agricultura y los cambios en el uso de la tierra, por ejemplo, representan una amenaza para el equilibrio ecológico; además, intensifican el cambio climático regional y global.

El Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES) ha realizado estudios sobre biodiversidad, cuyos resultados deben destacarse. A continuación, se mencionan algunos:

- El 75% del medioambiente terrestre y el 66% del marino han sido alterados significativamente por acciones humanas. Estas tendencias han sido menos severas o evitadas en áreas que han estado o están bajo el manejo de los pueblos indígenas y las comunidades locales.
- Más de un tercio de la superficie mundial y casi el 75% de los recursos de agua están dedicados a la producción agropecuaria.
- Aproximadamente, 60 billones de toneladas de recursos renovables y no renovables han sido extraídos globalmente cada año y esta cifra se ha duplicado respecto de 1980.
- Alrededor de 577 billones de dólares en cosechas anuales globales están en riesgo debido a la pérdida de polinizadores.
- Entre 100 y 300 millones de personas están en riesgo de ser víctimas de inundaciones y eventos extremos de la naturaleza debido a la pérdida de los hábitats costeros y sus áreas de protección.
- En el 2015, el 33% de los inventarios de peces marinos fueron cosechados en niveles no sostenibles.

- Las áreas urbanas se han duplicado desde 1992.
- Contaminación:
  - ▶ El volumen de plásticos se ha incrementado en 10 veces desde 1989.
  - ▶ Entre 300 y 400 millones de toneladas de metales pesados, solventes orgánicos, lodo tóxico y otros desechos industriales han sido vertidos en los recursos globales de agua.
  - ▶ Los fertilizantes que llegan a los ecosistemas costeros han producido más de 400 zonas muertas, las cuales cubren más de 245 000 kilómetros cuadrados, un área más grande que la superficie de Inglaterra.

### **Tipo de contaminantes en vertimientos que afectan los ecosistemas**

Los vertimientos que llegan a los sistemas hidrológicos contienen sustancias contaminantes que afectan en sumo grado los ecosistemas. Uno de estos contaminantes son los nutrientes, sobre los cuáles no me explayaré porque es un tema que se tratará en otro día del coloquio. Sí pondré atención en los contaminantes emergentes; específicamente, en los antibióticos. Además de estos, se cuenta la infraestructura de salud, sin adecuado sistema de tratamiento de los vertimientos. Del mismo modo, las plantas de tratamiento de aguas residuales, que son inadecuadas y llevan los efluentes directamente a ríos, lagos, lagunas y áreas costeras. Los metales provenientes de la actividad minera e industrial son otro tipo de contaminante, al que se suman los plaguicidas utilizados en la actividad agrícola. Se deben mencionar, también, dos casos especiales: la influencia de vertimientos no tratados a los corales, y el cambio climático y sus efectos en la calidad de agua.

### **Principales problemas para la calidad de los recursos acuáticos en áreas urbanas**

Los países de América Latina no están bien encaminados hacia el logro de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS), concretamente en lo referido al saneamiento. El Programa de Seguimiento Conjunto para Suministro de Agua, Saneamiento e Higiene (Joint Monitoring Programa, JMP, 2019) ha publicado datos recientes basados en estimaciones nacionales, regionales y globales de hogares para el periodo 2000-2017. Si nos enfocamos en el saneamiento de los países centroamericanos estudiados se verá que tienen una buena cobertura de saneamiento básico (entre 79 % y 92 %), pero las conexiones de

alcantarillado son mucho menores (entre 28% y 73%). En América del Sur el saneamiento básico va de 57% a 99% de cobertura y las conexiones de alcantarillado son de 62% a 98%. En cuanto a las plantas de tratamiento con tratamiento secundario, hay pocos datos, pero muestran que la cobertura varía entre 15% y 47%, con excepción de Chile, que ha alcanzado el 87%.

Es importante aclarar que la cobertura de saneamiento no siempre significa que no haya contaminación hacia los cuerpos receptores. Es el caso de República Dominicana, que tiene tanques sépticos verticales, y de algunos países de Centroamérica, que cuentan con tanques sépticos concentrados en las nuevas urbanizaciones; ambos contaminan las aguas subterráneas. Igual ocurre en los países de Latinoamérica, donde existen plantas de tratamiento con muy baja eficiencia y ausencia o deficiencia de mantenimiento, que aún contaminan los cuerpos receptores de aguas superficiales (IANAS, 2019).

El tratamiento inadecuado de las aguas residuales en las áreas urbanas impacta en la calidad de los recursos acuáticos y causa serios problemas a los ecosistemas. Al respecto, se han hecho progresos, pero aún el 20% de las aguas residuales descargan en ríos y mares sin ningún tratamiento. La mayoría de los países han hecho esfuerzos por instalar plantas de tratamiento adecuadas en las ciudades. Sin embargo, en Centroamérica, por ejemplo, existen aguas de lagunas de oxidación con tratamiento de aguas residuales domésticas, que descargan en aguas superficiales, con la consiguiente eutrofización en alto grado. Esto significa la pérdida de cuerpos de agua con calidad y potencial para el consumo humano.

Uno de los principales impactos en la calidad del agua es el causado por la eutrofización. De este problema no se ha librado ningún país de las Américas, pues todos han tenido experiencias de eutrofización en sus cuerpos de agua superficiales desde las dos fuentes: puntuales y no puntuales. Hay trabajos que sustentan esta afirmación, como el realizado por Schindler (1977), quien señala que la proliferación de floraciones de algas nocivas en los lagos Erie y Ontario fueron preocupación pública en los dos lados de la frontera entre Estados Unidos y Canadá.

### **Contaminantes emergentes: el caso de los antibióticos**

Los vertimientos que contienen antibióticos han impactado en los recursos de agua. Existen estudios mundialmente reconocidos que demuestran que,



en los ríos de 72 países, se han encontrado concentraciones que exceden niveles seguros hasta en 300 veces (York University, 2019). Se calcula que el consumo global de antibióticos es de 100 000 a 200 000 toneladas anuales y solo China consume 25 000 toneladas (Laxminarayan, 2014; Teillant & Laxminarayan, 2015). La contaminación ambiental debida a los antibióticos implica el desarrollo de una resistencia a estos, especialmente a las tetraciclinas y sulfonamidas. Los efluentes contienen no solo antibióticos, sino también bacterias resistentes, lo que significa una reducción en su potencial terapéutico. Son numerosos los estudios que evidencian que los antibióticos modifican las comunidades biológicas aguas abajo de industrias farmacéuticas, hospitales, plantas de tratamiento de aguas residuales, granjas, etcétera.

Los antibióticos y las bacterias resistentes se encuentran en el agua de ríos, lagos, aguas subterráneas y agua potable, así como en los sedimentos (Martínez, 2008; Schwartz et al., 2003), incluso del Ártico (Tan et al., 2018). Por ejemplo, las fluoroquinolonas pueden penetrar en los sedimentos de ríos y lagos para terminar en las aguas subterráneas.

Estos contaminantes emergentes tienen efectos bioestáticos o biotóxicos, lo cual significa que alteran la composición de las especies de las comunidades biológicas. Como resultado, se producen cambios en varios niveles del ecosistema (bacterias, algas y especies vertebradas, como los embriones del pez cebra, e invertebradas, como la *Daphnia*) y en algunos casos las altas concentraciones pueden eliminar por completo el crecimiento de algas (Bielen et al., 2017). Ciertas mezclas de antibióticos interactúan sinérgicamente y, por tanto, presentan riesgos acumulativos para el ecosistema acuático (González-Pleiter et al., 2013; Yang et al., 2008). Antibióticos como la oxitetraciclina y ciprofloxacina forman complejos con metales pesados, como el cobre, el zinc y el cadmio, que son aún más tóxicos para bacterias, como la *Vibrio fischeri*, y algas, como la *Scenedesmus*. Los embriones de peces también sufren estos efectos, que causan problemas de desarrollo y sobrevivencia de los embriones en aguas con altas concentraciones de antibióticos.

Una fuente importante de estas concentraciones ha sido identificada en las industrias de producción de carne, que usan grandes cantidades de antibióticos. A la fecha, se ha estimado que la cantidad de antibióticos utilizada en los centros de crianza de aves y ganado porcino es mucho mayor que los volúmenes utilizados en humanos (Van Boeckel et al., 2014, 2015). Asimismo, se ha observado un impacto en los ecosistemas acuáticos cercanos a las granjas acuícolas.

Lamentablemente, aún no existen suficientes estudios y monitoreo acerca de la presencia de los antibióticos en agua por continente, como para tener un patrón de distribución mundial. Pero algunos ejemplos de la distribución en los ríos de diversos continentes pueden brindar una idea de la magnitud del problema.

Sobre el punto, el río La Paz, en Bolivia, recibe escorrentía urbana de los Andes, donde hay grandes áreas que se riegan con las aguas de este río contaminado con múltiples enteropatógenos resistentes a los antibióticos (Poma, et al., 2016). En África, el deterioro en la calidad del agua de los ríos por la presencia de antibióticos y bacterias resistentes a estos ha sido atribuido a la liberación de los efluentes urbanos de aguas residuales (Sibanda et al., 2015).

En Europa, se han encontrado antibióticos y genes resistentes a antibióticos (ARG) en concentraciones significativamente más altas aguas abajo de las plantas de tratamiento y también de fuentes provenientes de campos agrícolas y granjas de animales (Jechalke et al., 2014).

En el continente americano, se sabe que en el río Poudre, en Colorado, Estados Unidos, se encontraron antibióticos y genes resistentes, debido a los efluentes de centros urbanos y áreas agrícolas (Zeba, 2005). Lo mismo ocurre en Cuba, en el río Almendares, a causa de las granjas de diversos animales (Mocktar et al., 2009).

Las plantas de tratamiento de aguas residuales sirven como reservorios principales de bacterias, genes resistentes a antibióticos y elementos móviles genéticos que pueden llegar al efluente final y que tienen el potencial de aumentar las bacterias resistentes en el ecosistema acuático del cuerpo receptor. Los efluentes que llegan a las plantas de tratamiento de aguas residuales contienen antibióticos provenientes de las aguas domésticas que, además, llevan excrementos humanos y animales. Luego los efluentes se vierten hacia cuerpos receptores en concentraciones de ng/L. Los procesos de tratamiento ineficiente y cargas altas de antibióticos resultan en impactos en el ecosistema acuático.

La situación descrita obliga a una regulación urgente, que debe contemplar una mejor gestión de los efluentes de la industria farmacéutica, mediante el establecimiento de límites para la concentración de antibióticos y bacterias resistentes. Lo mismo debe regir para las granjas de animales. Al mismo tiempo, se deben desarrollar tecnologías para mejorar la eficiencia de las plantas de tratamiento en la remoción de antibióticos dañinos para

el ecosistema, pues provocan el incremento de bacterias resistentes. Finalmente, se deben mejorar tanto las prácticas como las medidas preventivas para el control de la diseminación de los antibióticos presentes en el agua.

### **Impacto de metales de la minería y los desechos industriales**

Un tema fundamental, que tratará en este coloquio el doctor Barboza, del Brasil, es el de los impactos de la minería y los desechos industriales. Solo mencionaré que sus efluentes tienen efectos importantes en los ecosistemas, y no solo son un riesgo las minas activas, sino también las abandonadas. Un caso que menciona el libro de IANAS es el de la mina de oro Gigante, en Canadá, que estuvo activa entre 1948 y el 2004:

En respuesta a las preocupaciones del público sobre la emisión de polvo de arsénico tóxico a la atmósfera, en 1951 la mina comenzó a soplar el polvo de trióxido de arsénico a los pozos subterráneos que se habían explotado, aduciendo que el permafrost mantendría el arsénico en su lugar de forma permanente. Para cuando se cerró la mina, se habían almacenado de esta manera más de 237 000 toneladas de trióxido de arsénico. Sin embargo, durante el mismo periodo, el clima aumentó al menos 3 grados en el área, y la disminución del permafrost está causando que el arsénico almacenado se movilice con el agua que inunda la mina (IANAS, 2019).

Otro problema es el mercurio presente en las aguas superficiales, como ha ocurrido en lagos de Canadá, que han sido afectados por este metal proveniente de plantas industriales. Al respecto:

Pocos contaminantes han causado problemas tan grandes en las aguas canadienses como el mercurio. El problema más conocido con el mercurio fue el caso de río Wabigoon y las comunidades indígenas de Grassy Narrows y Whitedog en el norte de Ontario. En 1962, la empresa Dryden Chemical Company comenzó a realizar un proceso de fabricación de cloro álcali para producir soda cáustica (IANAS, 2019).

Las consecuencias de esta contaminación han sido varias. A pesar de que la presencia de mercurio en los peces ha disminuido en cerca de un tercio de los valores iniciales en las últimas cinco décadas, las concentraciones aún son demasiado altas para el consumo humano y la cantidad de mercurio en sedimentos del fondo y en peces es varias veces superior que la de los lagos de referencia cercanos. Por otra parte, las concentraciones, tanto en peces como en sedimentos, ya han alcanzado un límite que poco ha cambiado durante las últimas dos décadas (Rudd et al., 2017).

## Impactos asociados a la expansión agrícola

En relación con la expansión agrícola, hemos dicho que esta también ha causado impactos en las aguas. La velocidad de esta expansión hacia los ecosistemas intactos varía de país en país. La pérdida de estos ecosistemas ha ocurrido mayormente en los trópicos, que son el hábitat que contiene los niveles más altos de biodiversidad del planeta. Por ejemplo, en América Latina se perdieron 100 millones de hectáreas de bosque tropical, entre 1980 y el 2000. A causa de la ganadería se perdieron alrededor de 42 millones de hectáreas en América Latina, y en las plantaciones del sureste del Asia se ha observado una disminución de aproximadamente 7,5 millones de hectáreas, el 80 % de los cuales se ha debido al cultivo de palma aceitera (IPBES, 2019). Como consecuencia de la pérdida de bosque, la sedimentación en las aguas superficiales, claramente afecta o destruye los ecosistemas del territorio impactado.

Es importante mencionar la contaminación de los recursos de agua en áreas rurales, donde se encuentran plaguicidas, fertilizantes y concentración de nitratos, que llegan a las aguas subterráneas. En el mundo, se aplican anualmente dos millones de toneladas de plaguicidas (Sharma et al., 2019). De acuerdo con datos de 2016, el mercado mundial de agroquímicos llegó a 215,2 miles de millones de dólares y se calcula que el 2025 llegará a 308,9 miles de millones (Statista, s. f.). Con la finalidad de aumentar la productividad, un tercio de los productos agrícolas reciben agroquímicos (Zhang et al., 2019). Los plaguicidas terminan depositados en los cuerpos de agua, donde se acumulan y producen efectos nocivos en los ecosistemas acuáticos (Dhananjayan et al., 2020).

Hay estudios mundialmente reconocidos que han reportado la presencia de plaguicidas organofosforados en los cuerpos de agua en cuencas de regiones agrícolas en países en desarrollo (Sidhu et al., 2019; Climent et al., 2019). Se encuentran también plaguicidas organoclorados acumulados en varios compartimientos ambientales. La fuente principal de los plaguicidas es el suelo, donde pueden persistir hasta que las lluvias generan su movimiento por medio de escorrentías y derrames desde fuentes puntuales. Debido a lluvias intensivas y malas prácticas de riego llegan a los cuerpos de agua.

El incremento del uso de fertilizantes nitrogenados, que llegan a las aguas superficiales por las escorrentías, causa eutrofización, con la consecuente reducción de las especies en los ecosistemas acuáticos y la posterior muerte de peces y proliferación de especies, como las cianobacterias.

El aumento de la temperatura provocado por el cambio y la variabilidad climáticos pueden favorecer la presencia de residuos agroquímicos en los cuerpos de agua. Estos se caracterizan por bioacumular y biomagnificar, en diferentes niveles del ecosistema acuático.

Los efectos de plaguicidas se han observado en organismos *non-target*. Entre estos, se cuentan las lombrices de tierra, los nematodos, los peces, los anfibios, los artrópodos, las aves y también los seres humanos. Los más afectados son los insectos (abejas) y parásitos que contribuyen a la polinización y depredación natural.

Otro ejemplo es el de los anfibios: el 7,4% de la población total ha sido designada como especie en peligro de extinción y el 43% ha sido afectada debido a la acumulación de residuos de plaguicidas, exacerbada por el cambio climático (Johnson et al., 2013). Los renacuajos han sufrido una alta tasa de mortalidad en lagunas naturales por la bioacumulación de sus fuentes alimenticias, como el fitoplancton, el zooplancton y los hongos.

Un caso crítico es el de los peces de aguas continentales y marinas, debido a su interacción en las condiciones químicas, físicas y biológicas del ambiente acuático. Los plaguicidas han ocasionado la muerte masiva de peces o han afectado su crecimiento, comportamiento, reproducción y función olfativa. Los residuos que se han encontrado en sus tejidos entran en la cadena alimenticia del ecosistema acuático.

Vistos los graves perjuicios generados por la contaminación de agroquímicos es necesario aplicar alternativas para la productividad de una agricultura sostenible con visión a la protección ambiental. Se ha avanzado con algunas prácticas, como el uso de bioplaguicidas naturales, biofertilizantes, y otras técnicas de cultivo y manejo de plagas. Sin embargo, es recomendable el desarrollo de más metodologías de biomonitoreo de los agroquímicos, para evitar su impacto en los ecosistemas.

### Impactos en áreas costeras

En diversas áreas costeras del continente, los vertimientos no tratados han provocado daños en el ecosistema marino y están degradando los corales. La especie denominada cuerno de alce juega un papel fundamental en el mantenimiento de los arrecifes de coral. Esta especie, que abundaba en el Caribe, ha pasado a engrosar la lista de especies en peligro de extinción.

La viruela blanca, un patógeno humano transmitido por las aguas residuales no tratadas, ha impactado seriamente en estos corales (Whelpton, 2012).

### **Efectos del cambio climático en la calidad del agua y de los ecosistemas acuáticos**

El cambio climático tiene efectos muy nocivos debido al aumento de la temperatura. Entre otros, contribuye al aumento de concentraciones de residuos de plaguicidas y otros contaminantes en los ecosistemas acuáticos (Johnson et al., 2013).

En general, los eventos climáticos se vuelven más impredecibles y se convierten en eventos extremos, como en el caso de sequías o inundaciones. “Los eventos extremos significan que las fuentes de agua que antes eran perennes ahora sufren de periodos de sequías con consecuencias para la biota acuática y los suministros públicos de agua” (IANAS, 2019). Y cuando se producen inundaciones, los elementos contaminantes pueden ser liberados de los sedimentos al agua e impactar en la biota acuática; también puede causar una distribución más amplia de los compuestos contaminantes en todo el sistema hidrológico.

El incremento de la temperatura de las aguas superficiales provoca la intensificación de las floraciones algales de cianobacterias, que se adaptan rápidamente a mayores temperaturas del agua y comienzan a dominar la biodiversidad del fitoplancton.

### **Medidas y sugerencias para los sistemas hidrológicos**

- Mejorar la eficiencia y el mantenimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales, que asegure que no habrá más contaminación en los cuerpos receptores del sistema hidrológico para la protección de su calidad y sus ecosistemas acuáticos. Es necesario un monitoreo constante del sistema y los efluentes.
- Establecer el reúso y reciclaje de las aguas residuales de diferentes usos siempre y cuando involucren un monitoreo de la calidad, para asegurar su aplicación adecuada.
- Establecer programas de monitoreo de los contaminantes del sistema hidrológico: ríos, lagos, lagunas y áreas costeras marinas. Introducir programas para la vigilancia de los contaminantes emergentes.

- Establecer programas de gestión de los recursos hídricos en las cuencas prioritarias, basados en la ciencia y los resultados de investigaciones. Es importante incluir elementos dirigidos a la salud humana y los ecosistemas acuáticos.
- Elaborar políticas para la gobernanza del agua que involucre a todos los actores.
- Revisar el cumplimiento del Objetivo del Desarrollo Sostenible 6: Meta 6.3 Calidad de Agua.

### Recomendaciones por sector

#### **Agricultura:**

- Promover buenas prácticas en la agricultura y aplicar metodologías agroecológicas.
- Planificar el paisaje de modo multifuncional, de tal manera que se garantice la seguridad alimentaria, las oportunidades de empleo, el mantenimiento de especies y las funciones ecosistémicas.
- Velar por el manejo integral e intersectorial de la actividad.

#### **Aguas continentales:**

- Promover la gobernanza inclusiva con gestión colaborativa y más equidad.
- Mejorar la integración de la gestión de los recursos hídricos y la planificación del paisaje.
- Promover mejores prácticas para reducir la erosión, sedimentación y contaminación por escorrentía.
- Aumentar el almacenamiento de agua, especialmente en zonas áridas.
- Promover la inversión en proyectos de agua con criterios de sostenibilidad.
- Evitar la fragmentación de las políticas relativas al recurso agua.

#### **Sistemas marinos:**

- Manejar la pesca con base en abordajes ecosistémicos.
- Planificar de modo especial, teniendo en cuenta cuotas efectivas, áreas marinas protegidas, y protección y manejo de áreas clave de biodiversidad marina.

- Manejar las áreas costeras en coordinación con productores y consumidores, con el objetivo de reducir la escorrentía y la contaminación de los mares.

### **Pandemia de covid-19 y desequilibrio ambiental**

La pandemia de covid-19 es una crisis ambiental-climática global causada por la intervención de los seres humanos, quienes estamos provocando síntomas de inestabilidad ambiental. Los síntomas consisten en la reducción de la cantidad y la calidad de los recursos hídricos, que incide en los ecosistemas acuáticos y en la salud humana. Del mismo modo, se ha observado la disminución de la biodiversidad mundial, la deforestación continua y la pérdida de grandes volúmenes de bosque en los últimos años, sobre todo en áreas tropicales. Es preocupante, además, la desaparición de humedales en áreas costeras marinas y lagos. Estos cambios en el clima afectan el funcionamiento del ciclo hidrológico y las economías locales.

Ahora, más que nunca, es fundamental promover la investigación en ciencias naturales ambientales en los temas más marcados por la inestabilidad ambiental, para poder ofrecer soluciones y transformaciones racionales.

### **Oportunidades**

Con la generación y acceso a más información científica sobre el estado de los recursos de agua y los impactos sobre la biodiversidad, existe una mayor posibilidad de desarrollar políticas e intervenciones que aporten a su protección.

Es urgente iniciar una nueva transformación y renovación ambiental, con una nueva ética ambiental, que busque la participación de diferentes sectores de la sociedad, donde la ciencia esté al servicio de la protección de la humanidad y la naturaleza.

### **Referencias**

Bielen, A., Šimatovic, A., Kosic-Vukšić, J., Senta, I., Ahel, M., Babic, S., Jurina, T., González Plaza, J. J., Milakovic, M. & Udikovic-Kolic, N. (2017). Negative environmental impacts of antibiotic-contaminated effluents from pharmaceutical industries. *Water Research*, 126, 79-87 DOI: 10.1016/j.watres.2017.09.019.



- Climent, M. J. Herrero-Hernández, E., Sánchez-Martín M. J., Rodríguez-Cruz, M. S., Pedreros, P. & Urrutia, R. (2019). Residues of pesticides and some metabolites in dissolved and particulate phase in surface stream water of Cachapoal River basin, Central Chile. *Environ Pollut*, 251, 90-101.
- Dhananjayan, V., Jayakumar, S. & Ravichandran, B. (2020). Conventional methods of pesticide application in agricultural field and fate of the pesticides in the environment and human health. *En Rakhimol*, K. R. et al. (Eds.). *Controlled release of pesticides for sustainable agriculture*. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-23396-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-23396-9_1)
- González-Pleiter, M., Gonzalo, S., Rodea-Palomares, I., Leganés, F., Rosal, R., Boltes, K., Marco, E. & Fernández-Piñas, F. (2013). Toxicity of five antibiotics and their mixtures towards photosynthetic aquatic organisms: implications for environmental risk assessment. *Water Res.*, 47(6), 2050-2064.
- Interamerican Network of Academies of Sciences (IANAS) (2019). *Calidad del agua en las Américas: Riesgos y oportunidades*. IANAS, México.
- Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES) (2019). El informe de la evaluación mundial sobre la diversidad biológica y los servicios de los ecosistemas. [https://ipbes.net/sites/default/files/2020-02/ipbes\\_global\\_assessment\\_report\\_summary\\_for\\_policymakers\\_es.pdf](https://ipbes.net/sites/default/files/2020-02/ipbes_global_assessment_report_summary_for_policymakers_es.pdf)
- Jechalke, S., Heuer, H., Siemens, J., Amelung, W. & Smalla, K. (2014). Fate and effects of veterinary antibiotics in soil. *Trends Microbiol.* 22(9), 536-545.
- Johnson, L. A., Welch, B. & Whitfield, S. M. (2013). Interactive effects of pesticide mixtures, predators, and environmental regimes on the toxicity of two pesticides to red-eyed tree frog larvae. *Environ Toxicol*, 32, 2379-2386.
- Joint Monitoring Program, (JMP) (2019). Progress on household drinking water, sanitation and hygiene: 2000-2017. <https://www.unicef.org/reports/progress-on-drinking-water-sanitation-and-hygiene-2019>
- Laxminarayan, R. (2014). Global antibiotic consumption 2000 to 2010: an analysis of national pharmaceutical sales data. *Lancet Infect. Dis.*, 14(8), 742-750.
- Martínez, J. L. (2008). Antibiotics and antibiotic resistance genes in natural environments. *Science* 321(5887), 365-367.

- Mocktar, C., Govinden, U., Sturm, A.W. & Essack, S. (2009). Complexity and diversity of  $\beta$ -lactamase expression in inhibitor-resistant *Escherichia coli* from public hospitals in KwaZulu-Natal, South Africa. *Southern African Journal of Epidemiology and Infection*, 24(4), 29-33.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2015). FAO's Information System on Water and Agriculture (AQUASTAT) *Water agricultural and other water uses database*. <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=es>
- Poma, V., Mamani, N. & Iñiguez, V. (2016). Impact of urban contamination of the La Paz river basin on thermotolerant coliform density and occurrence of multiple antibiotic resistant enteric pathogens in river water, irrigated soil and fresh vegetables. *SpringerPlus* 5(1), 499.
- Rudd, J., Harris, R., Kelly, C., Sellers, P. & Townsend, B. (2017). *Proposal to clean-up (remediate) mercury pollution in the English-Wabigoon River*. 10.13140/RG.2.2.28734.08004.
- Schindler, D. W. (1977). Evolution of phosphorus limitation in lakes. *Science*, 195, 260-262.
- Schwartz, T., Kohnen, W., Jansen, B. & Obst, U. (2003). Detection of antibiotic-resistant bacteria and their resistance genes in wastewater, surface water, and drinking water biofilms. *FEMS Microbiol. Ecol.*, 43(3), 325-335.
- Sharma, P., Meena, R. S., Kumar, S., Gurjar, D. S., Yadav, G. S. & Kumar, S. (2019). Growth, yield and quality of cluster bean (*Cyamopsis tetragonoloba*) as influenced by integrated nutrient management under alley cropping system. *Indian J Agri Sci*, 89(11) 1876-1880.
- Sibanda, T., Selvarajan, R. & Tekere, M. (2015). Urban effluent discharges as causes of public and environmental health concerns in South Africa's aquatic milieu. *Environ. Sci. Pollut. Control Ser.*, 22(23), 18301-18317.
- Sidhu, G. K., Singh, S., Kumar, V., Dhanjal, D.S., Datta, S. & Singh, J. (2019). Toxicity, monitoring and biodegradation of organophosphate pesticides: a review. *Critical Rev Environ Sci Technol*, 49(13), 1135-1187.
- Statista (s. f.). Global N.º 1. Business Data Platform. <http://www.statista.com>
- Tan, L., Li, L., Ashbolt, N., Wang, X., Cui, Y., Zhu, X., Xu, Y., Yang, Y., Mao, D. & Luo, Y. (2018). Arctic antibiotic resistance gene contamination, a result of anthropogenic activities and natural origin. *Sci. Total Environ.* 621, 1176-1184.

- Teillant, A. & Laxminarayan, R. (2015). Global trends in antimicrobial use in food animals. *Proc. Natl. Acad. Sci. Unit. States Am.*, 112(18), 5649-5654.
- Tundisi, J. G., Matsumura-Tundisi, T., Ciminelli, V. S. & Barbosa, F. A. (2015). Water availability, water quality and water governance: the future ahead. *Hydrological Sciences and Water Security. Past, Present, Future. IAHS Publ.*, 366, 75-79. <https://piahs.copernicus.org/articles/366/75/2015/piahs-366-75-2015.pdf>
- Van Boeckel, T. P., Brower, C., Gilbert, M., Grenfell, B. T., Levin, S. A., Robinson, T. P., Teillant, A. & Laxminarayan, R. (2015). Global trends in antimicrobial use in food animals. *Proc. Natl. Acad. Sci. Unit. States Am.*, 112(18), 5649-5654.
- Van Boeckel, T. P., Gandra, S., Ashok, A., Caudron, Q., Grenfell, B. T., Levin, S. A. & Laxminarayan, R. (2014). Global antibiotic consumption 2000 to 2010: an analysis of national pharmaceutical sales data. *Lancet Infect. Dis.*, 14(8), 742-750.
- Whelpton, L. (2012). *Yale Environment Review*. <https://environment-review.yale.edu/untreated-wastewater-kills-coral-0>
- York University. (2019). Antibiotics found in some of the world ´s rivers exceed safe levels, global study finds. <https://www.york.ac.uk/news-and-events/news/2019/research/antibiotics-found-in-some-of-worlds-rivers/>
- Yang, L. H., Ying, G. G., Su, H. C., Stauber, J. L., Adams, M. S. & Binet, M. T. (2008). Growth inhibiting effects of 12 antibacterial agents and their mixtures on the freshwater microalga *Pseudokirchneriella subcapitata*. *Environ. Toxicol. Chem*, 27(5), 1201-1208.
- Zeba, B. (2005). Overview of  $\beta$ -lactamase incidence on bacterial drug resistance. *Afr. J. Biotechnol*, 4(13).
- Zhang, Y., Guo, W., Chen, H., Gao, J., Xu, Z., Tao, L., Li, Z. & Xu, W. (2019) Spinetoram confers its cytotoxic effects by inducing AMPK/mTOR-mediated autophagy and oxidative DNA damage. *Ecotoxicol Environ Saf*, 183.



**Francisco Dumler**

Empresa de Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (Sedapal)

Abordaré el caso de la Empresa de Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (Sedapal). Hablar del agua en Lima nos lleva a referirnos a una cuenca atípica del Pacífico, porque todas las cuencas que miran a este océano están dedicadas a actividades agrícolas y pecuarias en un 80 %, pero en las cuencas de los ríos Chillón, Rímac y Lurín, el comportamiento ha sido a la inversa. El 85 % del uso del agua de estos tres grandes ríos que nutren la cuenca es estrictamente de uso poblacional. Esto tiene relación, además, con el número de habitantes. Lima, que es la cuenca que abastece Sedapal, tiene una población cercana a los 11 millones de habitantes, pero unida al área que corresponde a la cuenca media del Huarochirí y a una serie de poblados aledaños a los que también abastecemos, pasa los 13 millones. El abastecimiento de agua en esta cuenca es un desafío, porque su densidad es muy alta; podríamos decir que Lima es la megaurbe del Pacífico.

Sedapal abastece un área que va desde Pucusana hasta Ancón, dos localidades playeras con una distancia entre sí de 110 kilómetros. Esta administración implica una red compleja de casi 30 000 kilómetros de redes de agua, cuyo control de calidad tiene sus propias dificultades. Lima concentra la tercera parte de la población del Perú y, en términos relativos, tiene la mejor cobertura; sin embargo, solo el 93 % de la población tiene acceso al sistema de agua y saneamiento; queda un 7 % por cubrir, lo cual significa que 800 000 pobladores de la ciudad no tienen acceso a este sistema y, si lo extendemos a las localidades colindantes con el centro del país, tendremos 1,2 millones de personas sin conexión domiciliaria a las redes de agua y saneamiento. Esta consideración es importante, porque estudios realizados por Sedapal, por la Autoridad Nacional del Agua y el Consejo de Recursos Hídricos del Chillón, el Rímac y el Lurín, señalan que un 80 % de la contaminación del río Rímac, del cual se nutre la población de Lima, es generado por la población, debido a que el 47 % tiene conexiones informales de desagüe. Esto se debe a que, por encima de la planta matriz de La Atarjea, hay 17 distritos que vierten sus aguas sin ningún tipo de tratamiento. Esta situación no era intensa unas 4 o 5 décadas atrás —cabe señalar que la empresa tiene 58 años— y La Atarjea no fue diseñada para el tratamiento biológico; fue construida en una época en la que

se pensaba que la principal fuente contaminante eran los residuos de vertimientos de la minería y la retención de metales pesados. Hoy, de ese 80%, el 33% son botaderos de residuos sólidos. El registro reciente, prepandemia, demuestra que las esclusas de las barracas móviles lograban retener alrededor de 10 toneladas de basura al día. Producto de la pandemia y la paralización de las actividades de construcción e industrial, esta cifra se redujo en un 90%, es decir, a casi una tonelada de residuos de basura. Así podemos imaginar que el gran problema de contaminación se debe al maltrato que le hacemos los propios limeños a nuestro propio río. Evidentemente, también hay contaminantes de la actividad agrícola y vertimientos de relaves antiguos.

Hay otros asuntos interesantes. Primero, una buena forma de mejorar la calidad del agua superficial y subterránea es trabajar constantemente los proyectos ecosistémicos, aunque las condiciones para esto sean complejas. Existen propuestas ecosistémicas que se están concretando gracias al fondo de más de 100 millones de soles logrado por la recaudación del 1% de los recibos de agua de Lima. Hay proyectos de reforestación, pequeños reservorios, andenerías, entre otros, que no solo aumentan el volumen de agua para la cuenca, sino también mejoran su calidad.

Segundo, para producir agua y mejorar la calidad, Lima ha empezado a mirar el agua del mar. El proyecto Provisur contempla la desalinización del agua de mar y su tratamiento; manda el efluente a través de un colector submarino a 4 balnearios del sur: Santamaría, San Bartolo, Punta Negra y Punta Hermosa, que en invierno tienen una población de 65 000 habitantes, pero que en verano sube a 2 millones. Por primera vez en la historia del Perú se va a utilizar producción de agua desalinizada para uso poblacional.

Tercero, Sedapal considera un pecado que, en una ciudad como Lima, se utilice agua potable para regar parques y jardines. Lo que proponemos es un esquema en el cual se reutilice agua cruda y que cada distrito tenga una o dos miniplantas de tratamiento de aguas residuales para suplir el riego con agua tratada.

Finalmente, un factor que también tiene relación con la calidad del agua, pero que no se tiene en cuenta, es lo que ocurre desde que el agua sale de La Atarjea y llega a nuestros domicilios. Tendríamos que preguntarnos, por ejemplo, sobre el estado de las tuberías en algunas zonas de Lima o si en nuestros edificios se hace mantenimiento a los tanques. Pues de nada sirve producir agua de calidad con estándares mundiales si las tuberías y cisternas de los domicilios, por falta de mantenimiento, provocan un alto nivel de contaminación.



**Rosa M. Miglio Toledo**  
Universidad Nacional Agraria La Molina

La cantidad de posibles fuentes contaminantes han sido identificadas en el país a partir de los estudios realizados por la Autoridad Nacional del Agua (ANA). Encontramos como fuente principal de contaminación los vertimientos domésticos, no solo de aguas residuales, sino también de residuos sólidos. En el Perú existe gran cantidad de centros poblados que vierten aguas residuales crudas y contaminantes emergentes con todas las implicancias que esto conlleva. Lamentablemente, nuestra normativa no contempla un control para este tipo de contaminantes. Esta es una primera llamada de atención para tener en cuenta, dado que el uso de antibióticos, hormonas y una serie de compuestos emergentes se han incrementado con el crecimiento poblacional y llegan a las fuentes de agua.

En nuestro país, con la aparición del covid-19, se pensó que algunos contaminantes presentes en el agua residual podían ser fuente de monitoreo, como en otros países, donde se realizan estudios epidemiológicos. Así, se ha encontrado la existencia de virus, drogas, antibióticos, etcétera. Tengo entendido que aquí el Estado ya ha empezado a realizar estudios piloto, pero debería crearse una institución, con personal altamente capacitado y el equipamiento necesario, que establezca una política definida. Entre otras funciones, tendría, por ejemplo, la detección molecular de diferentes tipos de virus, como una alerta para un mejor control de los vertimientos que llegan de las ciudades. Existen instituciones que, con esfuerzo, realizan estas tareas, pero hay que darles el impulso final y el reconocimiento para que establezcan políticas claras sobre el particular. En el Perú, con un territorio tan diverso y realidades tan diferentes, quizás no se puedan aplicar las mismas políticas en todas las regiones, lo cual hace que el trabajo sea más complejo, pero se avanza.

En el Perú, tenemos programas con el Estado para monitorear los vertimientos municipales; hasta hace dos años se monitoreaban solamente las empresas que prestaban servicios de saneamiento, formalizadas en un ámbito de intervención urbana, con mucha información disponible. En la actualidad, el organismo supervisor de los servicios de saneamiento tiene que monitorear también a las comunidades rurales, que tienen juntas administradoras de servicios. En este caso, se monitorea si tienen vertimien-

tos adecuados de sus efluentes, un trabajo complejo dado que existen más 24 000 de estas organizaciones. El Estado también tiene que adecuarse a estas nuevas condiciones de control que se están presentando en el país.

En cuanto a la reducción de los vertimientos causantes de la contaminación del agua, en la costa se da una condición ideal para motivar el reúso del agua residual. Actualmente, más del 43% de las aguas residuales producidas van al reúso agrícola, que es el otro gran campo donde podrían llevarse las aguas residuales; obviamente con el control, el monitoreo y la calidad adecuados del agua para evitar los riesgos de transmisión de patógenos. Pero considero que el reúso es parte de una política nacional que nos llevará también a reducir el consumo de las fuentes de agua potable con fines agropecuarios.

En el mundo se están promoviendo, asimismo, otras tecnologías que reducen los vertimientos, como las técnicas de cero descarga, para crear ambientes donde se pueda reforestar o crear sistemas evaporativos o filtros verdes, que son una alternativa interesante para aplicar en las zonas altoandinas. A veces tenemos la necesidad de descargar en quebradas secas, que son cursos de agua con muy poco volumen y donde un vertimiento puede tener un gran impacto; por ello, es importante empezar a practicar e introducir estas nuevas tecnologías.

Un tema interesante que trabajó la ANA, en su momento, consistió en mejorar la recarga de los acuíferos de agua subterránea para consumo potable. En este caso, la recarga se produce con agua residual, que tiene que ser tratada previamente; el complemento del tratamiento se produce en el subsuelo, para lo cual la recarga de las aguas residuales debe tener condiciones especiales.

Otro elemento que podría contribuir a reducir los vertimientos son las políticas de crecimiento de las ciudades y el trabajo con las poblaciones, que, de alguna manera, ya se está poniendo en práctica mediante las ciudades saludables o los edificios verdes. Estos se orientan a reducir las descargas de agua con la instalación de aparatos ahorradores o con aguas de reúso para actividades que no requieren agua de la mejor calidad. Cabe mencionar que en el 2015 se puso en vigor el Código de Construcción Sostenible, en el que se promueven este tipo de prácticas.

Debemos reiterar que se necesitan políticas firmes y el apoyo constante de la academia y la investigación en la búsqueda de tecnologías para mejorar el tratamiento de las aguas.



**Lucio Quiñones**

Centro Guaman Poma de Ayala, Cusco

La política institucional del Centro Guaman Poma de Ayala como su metodología se enmarcan en los enfoques territorial, de cuenca, intercultural y de derechos. Nuestra atención está puesta en la persona humana; en este sentido, hace más de 18 años adoptamos como política institucional la difusión, la sensibilización y la implementación de la gestión integrada de los recursos hídricos, pensando en el bienestar de las personas, en el presente y el futuro. Para ello, iniciamos un proceso de articulación de actores a través de la Plataforma GIRH Huatanay y así propiciar una gestión transectorial del agua. Una segunda premisa es que los recursos hídricos son el principal componente del ecosistema; son reconocidos como un bien social y económico al cual todos, sin excepción, deben acceder, porque se trata de un derecho humano fundamental.

Consideramos vital el trabajo en torno a la gestión del agua. Esta labor debe ser una acción transversal, que tenga en cuenta los diversos usos: el agua para el consumo de las personas, el agua para la producción de alimentos, el agua para la naturaleza y el agua para la industria. Nos hemos ido especializando en estas líneas y, en las intervenciones, incidimos en la revaloración de las técnicas, los conocimientos y las tecnologías ancestrales de manejo del agua, y se contribuye a fortalecer los derechos consuetudinarios que se plasmaron en la organización de la comunidad, que también es ancestral. Es importante destacar la participación de la población, tanto de hombres como de mujeres y, últimamente, de la juventud.

Junto a la gestión del agua, nos parece fundamental la planificación territorial y la articulación con los otros actores; no podemos vivir de espaldas a los sectores público y privado: tenemos que integrarnos cada vez más. Para desarrollar nuestros proyectos contamos con la cooperación internacional; en este caso, con la cooperación española, particularmente de la diputación de Córdoba, en la región de Andalucía. Asimismo, tenemos entidades socias, como la Fundación Social de Montilla, ciudad que está hermanada con el Cusco gracias al Inca Garcilaso de la Vega, que vivió en Cusco y en Montilla.



Otra de las prácticas, bastante difundida, es la recarga de los acuíferos en las cabeceras de cuenca. Para ello, promovemos la construcción de zanjas de infiltración, la forestación con especies nativas del lugar, como la *qewña* y el chachacomo, plantas que se adaptan muy bien a las adversidades del clima andino y cuyo balance hídrico es favorable en comparación con otras especies, como el eucalipto. Del mismo modo, rehabilitamos *qochas* o lagunillas, que están en las laderas y cuya práctica fue masiva durante el incanato. Adicionalmente, se promueven otras prácticas mecánico-estructurales, sobre todo aquellas que se adaptan a zonas de laderas, donde la erosión de los suelos se da con mayor incidencia debido a las pendientes elevadas.

Las intervenciones de Guaman Poma, desde sus inicios, vieron la necesidad de integrar la gestión y los procesos constructivos del sistema de abastecimiento de agua y saneamiento (desagüe), así como el tratamiento de las aguas residuales, porque aún prevalece la costumbre de construir sistemas de agua sin tener en cuenta su tratamiento. No se le puede dejar la responsabilidad solo a la municipalidad; todos tenemos que asumir un compromiso en la gestión del servicio de agua y saneamiento.

En relación con los vertimientos, estos representan un problema medular, sobre todo en las zonas altoandinas, en comunidades de laderas y altura, donde no hay una empresa que administre, porque la cobertura de SedaCusco no llega a zonas alejadas. Sabemos que ahí la población aún hace sus necesidades en el campo, en las acequias, los ríos y riachuelos. En los casos en que existen servicios, estas aguas residuales fluyen a través del espacio público y se convierten en focos de contaminación. Frente a esto, desde hace algunos años, trabajamos en la instalación de pequeñas plantas de tratamiento primario y secundario, y ahora también en comunidades mediante el sistema de biofiltros. Al parecer, esto ha dado muy buenos resultados y nos obliga a separar las aguas negras de las grises. Las aguas negras las excretamos a través de digestores que nosotros mismos fabricamos, pero dependiendo de una empresa. Las aguas grises las transportamos hacia humedales artificiales donde tenemos una plantación de totora, planta acuática cuya raíz capta los nutrientes que quedan en las aguas grises, sobre todo los nutrientes nitrogenados y los fosfatos.

Hemos construido entre 18 y 20 plantas de tratamiento a las que hacemos monitoreo, que tiene un alto costo, pero permite conocer el nivel de

eficiencia. En una de estas hicimos algunas variaciones; por ejemplo, saltos de agua, con el fin de que el agua se oxigene y se reduzca la demanda química o bioquímica de oxígeno.

Para quienes vivimos en las zonas altoandinas, el cambio climático es otra pandemia, y quizás más fuerte que el covid-19, porque corremos el riesgo de quedarnos sin agua. Esto hace necesario el trabajo de siembra y cosecha de agua, entre ellas la construcción de zanjas de infiltración de aguas pluviales en el subsuelo de las cabeceras de cuenca. Junto a esta práctica ancestral, es importante ampliar la cobertura vegetal de forma que las aguas no erosionen los suelos. Por último, tenemos que profundizar en los estudios sobre la gestión y calidad del agua, elementos que ayudarán a convivir en armonía con la naturaleza; hablar de desarrollo es hablar del buen vivir o el *allin kausay*, en quechua.



COLOQUIO  
**CIENCIA Y  
SOCIEDAD**

**CALIDAD DEL AGUA:  
SALUD DE LOS ECOSISTEMAS  
Y SALUD HUMANA**

Mesa 2

**Eutrofización y contaminación de aguas  
continentales y marinas: investigación y  
respuestas desde la ciencia**

**Conferencista**

**Gabriel Roldán**

Academia Colombiana de Ciencias Exactas,  
Físicas y Naturales

**Panel**

**Ernesto González**

Universidad Central de Venezuela

**Donald Anderson**

Institución Oceanográfica de Woods Hole

**Hugo Montoro**

Sociedad Geográfica de Lima

**Moderadora:**

**Verónica Rubín de Celis**

Universidad Ricardo Palma y Academia Nacional de Ciencias



## Eutrofización: fuentes, efectos y posibles soluciones

**Gabriel Roldán**

Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

La eutrofización es el efecto de la contaminación en lagos, ríos y embalses. Este proceso es provocado por el exceso de nutrientes en el agua, principalmente nitrógeno y fósforo, procedentes de la actividad agrícola y de las aguas residuales domésticas. La contaminación proviene también de las actividades industrial, minera y petrolera. En Colombia, por ejemplo, se han tenido gran cantidad de atentados contra los oleoductos, que han dejado residuos de petróleo en distintos cuerpos de agua.

Otra de las causas graves de contaminación son las aguas residuales domésticas, provenientes de muchos pueblos e incluso de ciudades.

La contaminación por el uso de plaguicidas es un fenómeno que se produce en todo el mundo, por cuanto juegan un papel muy importante en el control y la erradicación de plagas en los cultivos, pero, al mismo tiempo, diseminan una cantidad significativa de tóxicos que, finalmente, llegan al agua.

### **Figura 1**

*Actividad de acuicultura en canastas flotantes en el embalse Betania*



Foto: G. Roldán

Otro contaminante de lagos y lagunas es la actividad acuícola que utiliza canastas flotantes. Lo que ocurre en el embalse de Betania, en Colombia, es

un ejemplo que deja ver, claramente, cómo se afectan las aguas (figura 1). Debido a esta actividad hemos tenido una mortalidad masiva de peces, provocada por la cantidad de nutrientes y heces de los mismos peces, que producen una baja de oxígeno, principalmente durante la noche. La consecuencia es la desoxigenación del agua y, por consiguiente, la muerte de los peces.

Se debe tener en cuenta que los embalses están concebidos para dar agua potable y generar energía; no son para la acuicultura.

## Figura 2

### *Estados de eutrofización*



La deforestación es otro problema latente que también da origen a la eutrofización. Al talar los bosques, los suelos quedan completamente desprotegidos de la lluvia, de modo que los nutrientes que tiene el suelo, más los sedimentos, son arrastrados por el agua; como consecuencia, se produce un incremento de los nutrientes, que causa la eutrofización de las aguas. Cuando se observa un lago totalmente cubierto de color verde es porque el grado de eutrofización ha llegado al máximo de contaminación. Este color es producto del fitoplancton y de algas microscópicas en grandes cantidades. En el Perú, el lago Titicaca, a 4000 metros de altitud es un ejemplo de



eutrofización bastante avanzada. Posiblemente, varias poblaciones están vertiendo sus aguas al lago y hasta ellas quizás llegan también los abonos de cultivos de las zonas aledañas.

La eutrofización se clasifica en cuatro categorías que graficamos en la figura 2. En primer lugar, existen fuentes de agua de tipo oligotrófico, que se muestran transparentes, con una coloración azul muy leve, debido a que tienen muy pocos nutrientes; sus aguas estarían en su estado más prístino. Otro tipo de eutrofización es la mesotrófica, en la cual comienzan a aparecer ciertos síntomas de contaminación, con un poco de color verde en ciertas épocas del año. Sigue la de tipo eutrófico, cuando se observa una mayor vegetación sobre el embalse; finalmente, encontramos el estado hipereutrófico, en el cual aparece una especie de masa verde sobre todo el embalse.

Hay una variedad de algas que conforman el fitoplancton y que le dan esa coloración diferente al agua. Estas algas se han generalizado en el trópico; se encuentran en muchas fuentes de agua y las hay de diversas especies: *Pediastrum simplex*, *Staurastrum* sp, *Scenedesmus quadricauda* y *Aulacoseira granulata*, entre otras. La vegetación acuática flotante es la mejor testigo de la eutrofización más dramática en los cuerpos de agua y en los embalses, porque toda esta vegetación superficial tiene consecuencias negativas. Primero, no deja entrar luz solar para dar paso a la fotosíntesis en el agua, y segundo, hay una colmatación por sedimentos que le hace perder volumen a los embalses. Cuando se presenta este escenario es porque la eutrofización es muy grave o incontrolable, como se muestra en la figura 3.

### Figura 3

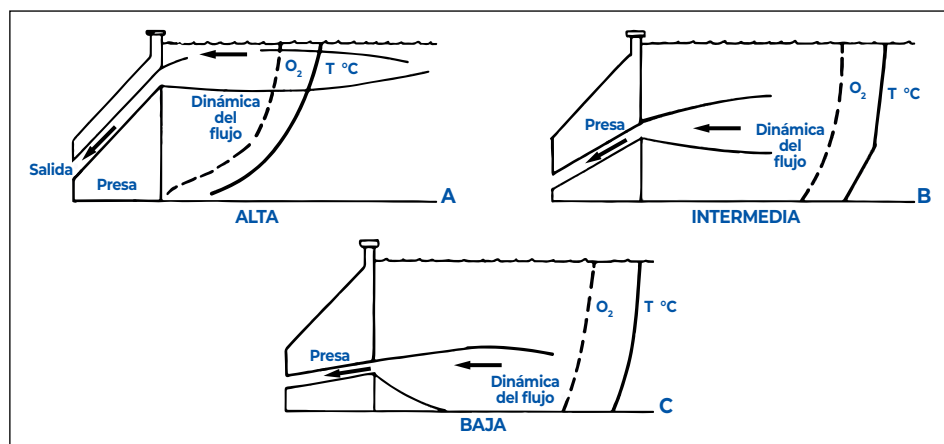
La vegetación acuática flotante: testigo de la eutrofización



Foto: G. Roldán

**Figura 4**

*Tipos de salida del agua en un embalse: perfiles posibles de oxígeno y temperatura en cada uno de ellos*



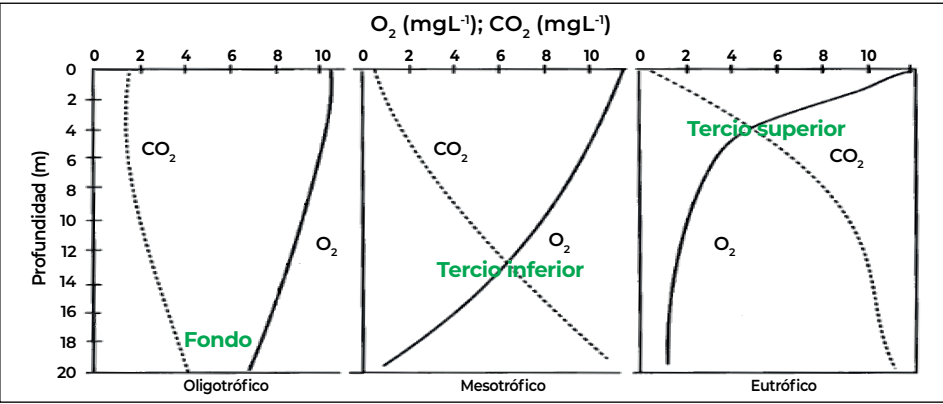
Elaboración: G. Roldán y J. Ramírez, 2008

En la figura 4 se pueden ver algunos efectos de las características físico-químicas en el sistema acuático. Como se ve, hay tres tipos de embalses. En el primero, se puede apreciar que si la salida del agua es por la superficie, no se renueva; por eso, se observa cómo, rápidamente, el oxígeno comienza a descender hasta desaparecer en el fondo; la temperatura también desciende. Si el embalse tiene una salida hacia la mitad de donde está la presa, habría una renovación parcial del agua, que, como se puede ver en la imagen, alcanza a renovarse parcialmente, conservándose oxígeno hasta el fondo. Pero cuando es un embalse en el cual la salida está en el fondo, se observa una mejora en la calidad del agua, debido a que el agua del fondo alcanza a renovarse completamente y la columna del embalse se oxigena. Así, un solo diseño hidráulico presenta tres clases diferentes de embalses, desde uno eutrofizado hasta otro de condiciones oligomesotróficas.

En la figura 5 se muestra que, si se mide el oxígeno disuelto y el dióxido de carbono desde la superficie de un lago a cero metros hasta, por ejemplo, 20 metros de profundidad, y se registra que hay oxígeno y dióxido de carbono hasta el fondo, se está hablando de un embalse o de un lago oligotrófico. Estas son algunas formas importantes de medir el oxígeno en la profundidad, para confirmar hasta qué punto del embalse hay oxígeno. En segundo lugar, si en el tercio inferior (12 a 14 metros) comienza a desaparecer el oxígeno, se habla de un embalse mesotrófico. Pero si observamos

que en el tercio superior, supongamos que a los 4 metros, ya no encontramos oxígeno, estamos hablando de un embalse eutrófico.

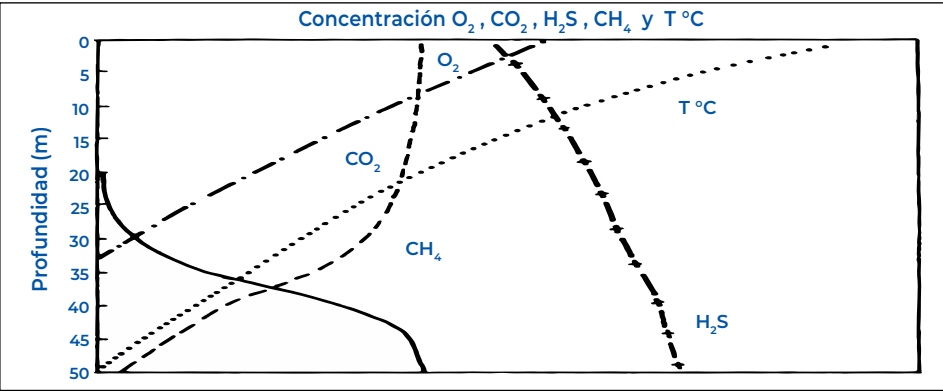
**Figura 5**  
*Curvas típicas de oxígeno y dióxido de carbono libre en tres lagos con diferente concentración de nutrientes: oligotrófico, mesotrófico y eutrófico*



Elaboración: G. Roldán y J. Ramírez, 2008

Mediante estas mediciones también se ve lo referente al ácido sulfhídrico y la temperatura. Vemos cómo en un embalse vertical (figura 6), cuando el oxígeno comienza a desaparecer en el fondo, comienza también a desaparecer el dióxido de carbono, pero, al mismo tiempo, empiezan a incrementarse los niveles de ácido sulfhídrico.

**Figura 6**  
*Comportamiento vertical de algunos parámetros químicos y la temperatura en un embalse o lago eutrofizado*



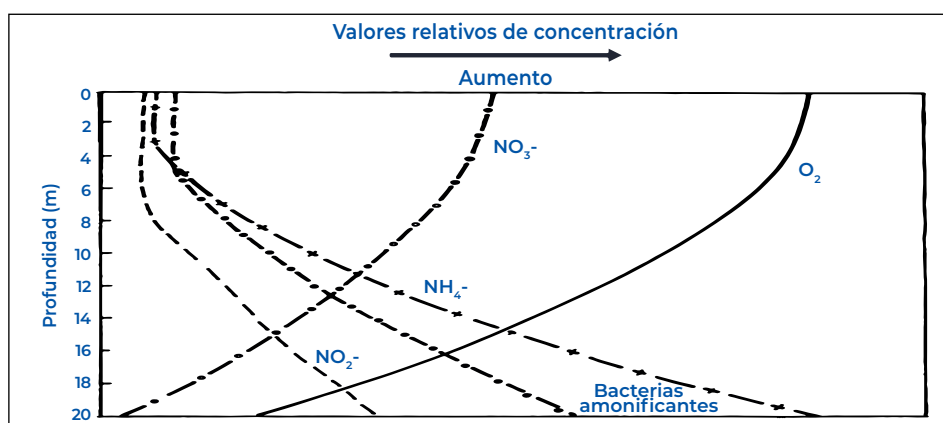
Elaboración: G. Roldán y J. Ramírez, 2008



De este modo, el fondo de un lago va a depender de la cantidad de nutrientes que tenga y, de acuerdo con la altura de la columna del agua, se puede determinar este estado eutrófico (figura 7). Lo mismo ocurre con los nitratos. Si estos y el oxígeno comienzan a desaparecer hacia el fondo, es porque hay una eutrofia que se va a medir por la presencia de amonio, nitritos y bacterias.

**Figura 7**

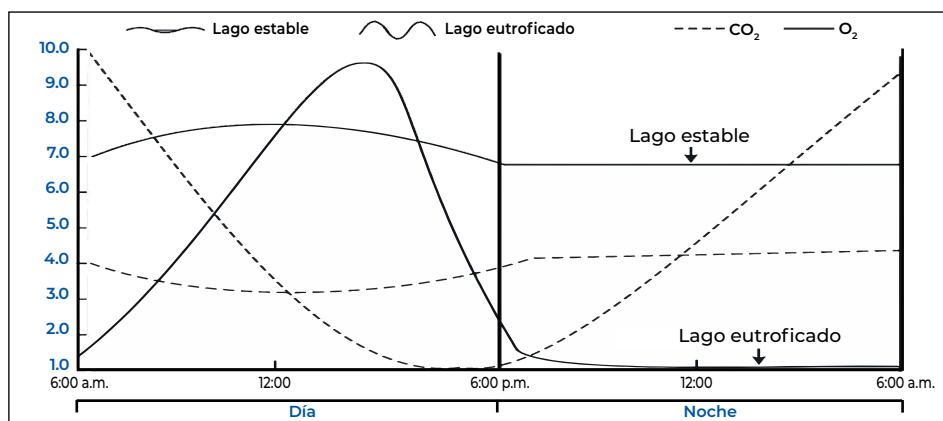
*Comportamiento hipotético del oxígeno, las bacterias amonificantes y las tres formas de nitrógeno en un embalse eutrofizado*



Elaboración: G. Roldán y J. Ramírez, 2008

**Figura 8**

*Variación de las concentraciones de oxígeno y dióxido de carbono en el ciclo día y noche en un lago estable y en uno eutrofizado*



Elaboración: G. Roldán y J. Ramírez, 2008

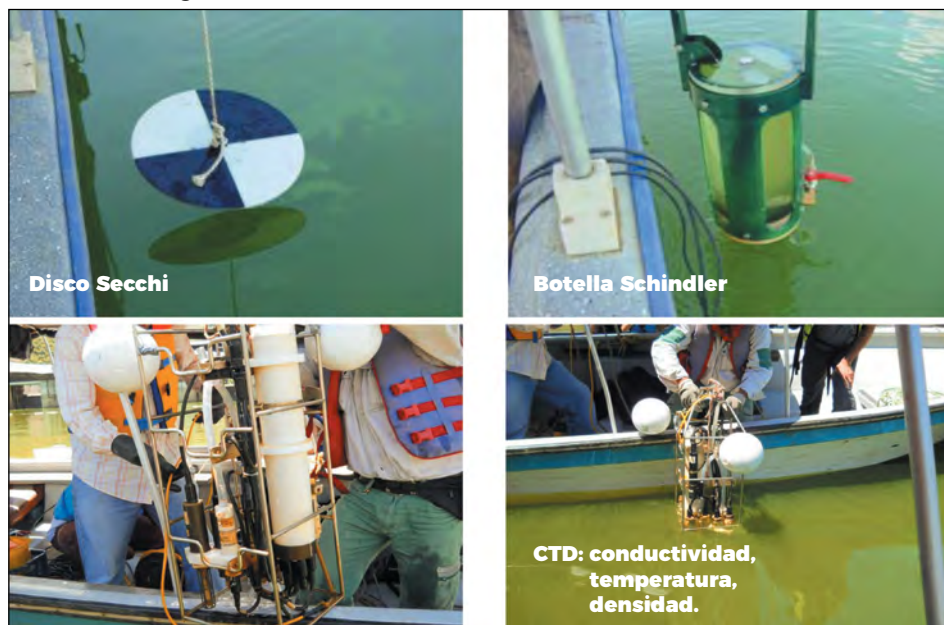
En la figura 8 se observa que, si se mide el oxígeno y el dióxido de carbono en un lago durante 24 horas, se encuentran cambios drásticos, día y noche, en el comportamiento del oxígeno y el dióxido de carbono; ello trae como consecuencia la mortalidad de peces.

### Medición de la eutrofización

La figura 9 muestra algunos equipos que se utilizan para medir la calidad de la columna de agua. El disco Secchi permite medir la transparencia del agua. Si el disco se hunde en el agua y desaparece de la vista a los dos o tres metros, está mostrando el estado eutrófico del embalse. En la figura se observan, también, unas botellas con las cuales se puede tomar oxígeno y muestras de agua a distintas profundidades y, al medir el oxígeno, podemos determinar a qué profundidad se puede encontrar este elemento.

#### Figura 9

*Equipos para medir los parámetros que permiten evaluar la calidad de la columna de agua*



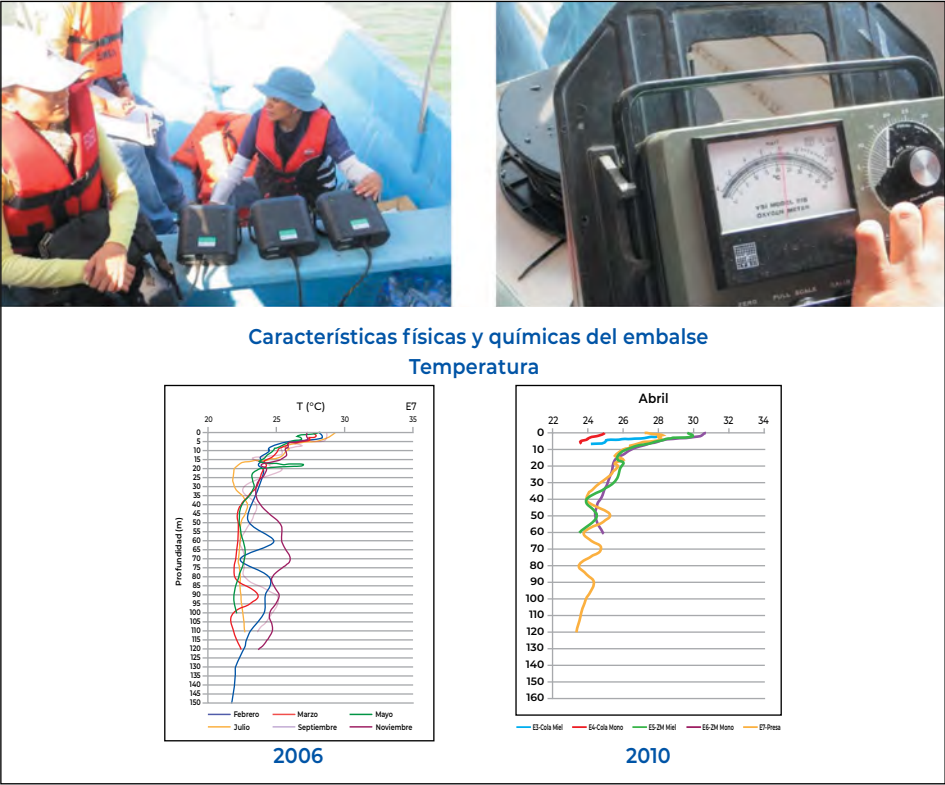
En la última imagen de esta figura se ve el denominado CTD, que es uno de los equipos más modernos utilizados para medir el agua, y en la pantalla

del computador podemos determinar, instantáneamente, cómo va cambiando y variando la columna de oxígeno.

También hay aparatos electrónicos que permiten medir la profundidad. Quienes trabajan en esta actividad saben cómo se va hundiendo un cable, que puede tener 30, 40 o 50 metros de longitud y se va viendo cómo marca el comportamiento de la columna (figura 10). Si esta columna llega hasta el fondo de manera más o menos recta, estamos hablando de oligotrofimesotrofia.

**Figura 10**

*Determinación de perfiles de profundidad de temperatura*



Fotos: G. Roldán

Otro tipo de prueba para medir la eutrofización es el denominado ensayo de las botellas oscura y clara; se denomina así pues una de las botellas se cubre con un papel negro para que no entre la luz (figura 11). Las botellas se

introducen en el agua por unas tres horas; cuando se sacan a la superficie, en la botella oscura el oxígeno prácticamente se habrá consumido; mientras tanto, en la clara se ha producido oxígeno.

### Figura 11

*Productividad primaria mediante las botellas oscura y clara*



Fotos: G. Roldán

Un método adicional es el de la clorofila, es decir, de la sustancia que tienen las plantas verdes, así como las algas. Mediante ellas también se puede determinar la eutrofización, para lo cual se obtiene agua de la superficie, del medio y del fondo. Este líquido se pasa por un filtro de papel, que quedará impregnado y permitirá confirmar el grado de eutrofización, según como quede el filtro: muy verde, medianamente verde o blanquecino. El siguiente paso es el análisis en laboratorio y la interpretación de los resultados, para lo cual se hacen mediciones físico-químicas, que permiten saber la cantidad de nitrógeno, pH y otros compuestos, hasta confirmar el estado de eutrofización.

En la tabla 1 se detallan las características de un lago o represa oligotrófico y eutrófico. En un lago oligotrófico en bajas concentraciones y en uno eutrófico en altas concentraciones, el oxígeno disuelto es normalmente alto, y en un lago eutrófico es muy bajo. Las comunidades son de baja biomasa en el oligotrófico y de alta en el eutrófico. La transparencia es alta en el oligotrófico y muy baja en el sistema eutrófico. En la morfometría en lagos y embalses profundos, que tienen poca intervención del hombre, la apariencia del agua es clara y limpia. En un lago eutrófico es generalmente coloreada y el tiempo de residencia va a determinar si el lago es eutrófico.

**Tabla 1**  
*Características de un lago o represa oligotróficos y eutróficos*

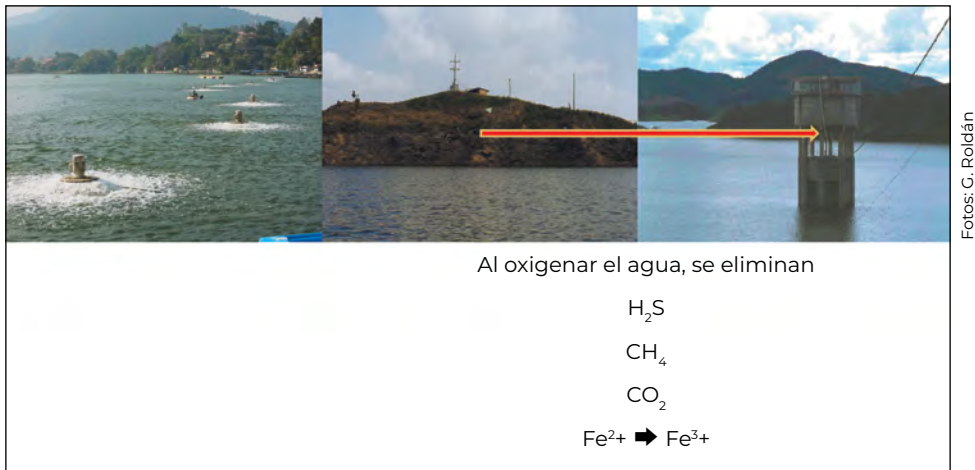
| FACTOR               | SISTEMA OLIGOTRÓFICO                                                                      | SISTEMA EUTRÓFICO                                                                                                         |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nutrientes           | Bajas concentraciones                                                                     | Altas concentraciones                                                                                                     |
|                      | Utilización lenta                                                                         | Utilización rápida                                                                                                        |
| Oxígeno disuelto     | Alto normalmente de la superficie al fondo                                                | Alto en la superficie y bajo o nulo en el fondo                                                                           |
|                      | Poca fluctuación día-noche                                                                | Mucha fluctuación día-noche                                                                                               |
| Comunidades          | Baja biomasa, alta diversidad                                                             | Alta biomasa, baja diversidad                                                                                             |
| Transparencia        | Alta                                                                                      | Baja                                                                                                                      |
|                      | Zona eufótica de varios metros de profundidad                                             | Zona eufótica de pocos metros o solo unos pocos centímetros de profundidad                                                |
| Morfometría          | Lagos o embalsas profundos poco intervenidos por el hombre; normalmente en altas montañas | Lagos poco profundos; zonas aledañas muy intervenidas por el hombre; normalmente situados en regiones cálidas o templadas |
| Apariencia           | Aguas claras y limpias, sin algas y sin vegetación acuática                               | Aguas de color verdoso o amarillento debido a la presencia de algas y densa vegetación acuática flotante o sumergida      |
| Tiempo de residencia | Corto: pocos días                                                                         | Largo: meses o hasta años                                                                                                 |

**Mitigación de los impactos: la remediación**

En algunas áreas se han desarrollado aireadores mecánicos, como los que se ven en la figura 12. Son ruedas que giran para oxigenar el agua. Esto es muy puntual y no es muy eficiente, pero son formas que se han ideado para remediar el impacto en los lagos. También se usa la aireación mecánica de captación en los embalses, que tienen torres de captación a distintos niveles. Si se le inyecta aire a la torre a través de los diferentes niveles de captación, se verá cómo al oxigenarse el agua, se reducirán los valores del ácido sulfhídrico, el metano y el dióxido de carbono, y el hierro ferroso que está disuelto en el agua anaeróbica, se precipitará como hierro férrico.

### Figura 12

*Aireación mecánica en las torres de captación en un embalse*



Otro método de control de la eutrofización son las aspiradoras acuáticas, que permiten extraer, del fondo de los embalses y los lagos, los nutrientes y las algas que se encuentran en el cuerpo del agua. Existen otros métodos más modernos, como el ultrasonido. Se ha comprobado que, de colocarse pantallas solares en un lago, las vibraciones que transmiten pueden dañar el citoplasma de las algas, de forma que también puedan ser controladas. Del mismo modo, se tienen que monitorear las malezas acuáticas y recoger las plantas; esto se puede realizar de forma casi manual desde una balsa y con un rastrillo.

En algunos lugares se hace limpieza mecánica, que se realiza con una especie de máquinas acuáticas. Finalmente, también se usan herbicidas, pero es un método no recomendado cuando se trata de aguas para el consumo en ciudades.

### Acciones y medidas de prevención

Para efectos de prevención se usan filtros biológicos. Con este fin, se coloca un cordón a la salida del agua; este va recogiendo la vegetación acuática, que luego es llevada hasta la orilla (figura 13).

### Figura 13

*Las plantas acuáticas actúan como filtros biológicos que extraen los materiales suspendidos en el agua*



Foto: G. Roldán

### Tratamiento de las aguas residuales

Un aspecto de suma importancia es el tratamiento de las aguas residuales provenientes de las ciudades y los poblados, porque estas son las grandes contaminadoras de lagos, ríos y embalses. En Medellín, dos de las más grandes plantas de tratamiento remueven, aproximadamente, entre el 70 % y el 80 % de la contaminación, pero, para una población de 3 millones de habitantes, queda aún por remover el 20 %, lo cual significa que hay 700 000 personas no cubiertas.

Una experiencia interesante es la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas. En la figura 14 se aprecian unos canales por donde va pasando el agua residual; las raíces sirven como filtros para retirar gran parte del material.

### Contaminación de los mares

Generalmente, toda la contaminación que se produce en las ciudades; es decir, en la parte continental, termina en el mar, lo cual está llevando a la pérdida de oxígeno de los océanos a pasos agigantados. En los últimos 50 años, la falta de oxígeno en las áreas oceánicas se ha multiplicado por 4 y en las zonas costeras por 10. Del mismo modo, el calentamiento del mar, por efecto del cambio climático, así como de la eutrofización, que consume mucho oxígeno, son una amenaza para la vida marina.



### Figura 14

*Depuración de aguas residuales con plantas acuáticas*



Izquierda, *Eichhornia crassipes* (buchón de agua). Derecha, canales sembrados con buchón de agua en la fábrica de IMUSA, Rionegro (Colombia).

Fotos: G. Roldán

En algunas regiones, como las más australes de Chile, la piscicultura ha impactado en el ecosistema marino, su biodiversidad y las formas de las comunidades locales. El impacto en la columna de oxígeno y en el fondo marino tiene directa relación con el residuo orgánico de los peces, producido por el consumo del alimento y las heces. Por ello, el contenido de nutrientes en el alimento debe ser controlado con mayor rigurosidad.

El cultivo de salmones y de otras especies que se está realizando en el mar tiene consecuencias devastadoras, sobre todo en la costa de Chile. Ciudades como Chiloé, Aysén y Magallanes están amenazadas por la marea negra de la acuicultura.

También subsisten amenazas locales que están causando destrucción y daño físico en los arrecifes de coral. Entre estas se cuentan la contaminación; la sedimentación; los nutrientes, como el nitrógeno y el fósforo; los patógenos de aguas residuales; las sustancias tóxicas; la pesca excesiva; la recolección de corales para su venta como objetos turísticos; la basura; y los microplásticos, que son el gran problema de hoy.

Detrás de todo esto se encuentra la gobernanza, es decir la capacidad que deben tener nuestras instituciones con personal profesional idóneo, ético y moral para aplicar las leyes y normas. Estas existen, pero no se cum-



plen, pues hay mucha corrupción; el control ambiental de las aguas está bien regulado, pero muy mal administrado

### **Tendencia hacia el futuro**

Algunos estudios, como el del Club de Roma, advertían sobre diversas alteraciones globales que atentarían contra la humanidad en su conjunto, pero estas advertencias fueron calificadas de absurdas en 1972. Sin embargo, el crecimiento industrial, de la población y del consumo han multiplicado sustantivamente la contaminación y el agotamiento de los recursos en las últimas décadas.

Esta organización consideró que en el 2000 empezaría un problema que podría derivar en un colapso de la población y del medioambiente. Esta advertencia se hace realidad ahora: hay una sobrepoblación, hay una acentuada contaminación y tenemos, obviamente, mayor demanda de alimentos. Calculo, además, que para el 2050 podrían darse nuevas enfermedades, catástrofes naturales, y contaminación y eutrofización de las aguas.

En conclusión, el arrastre de sedimentos, la contaminación doméstica, la industrial, las prácticas agrícolas y la deforestación constituyen las amenazas más serias para la eutrofización de los ecosistemas acuáticos. De la misma magnitud son los impactos provocados por la piscicultura, tanto como las plantas acuáticas para los embalses tropicales. A estos hay que sumar la falta de tratamiento de las aguas residuales, la actividad minera, la utilización masiva de pesticidas y el mal manejo de la basura. Junto a estos impactos se deben mencionar también la falta de gobernabilidad y de educación de la población.



**Ernesto J. González Rivas**  
Universidad Central de Venezuela

En primer lugar, debo decir que la eutrofización es un problema mundial. Se calcula que alrededor del 48% de los lagos y embalses están eutrofizados. Gabriel Roldán, en su conferencia, ha expresado las características; yo voy a insistir en los criterios principales para determinar el estado trófico. Hay tres tipos de criterios: físicos, químicos y biológicos. En el primero de estos, los sistemas eutrofizados se caracterizan por el aumento de material suspendido; en el segundo, se incrementan la concentración de nutrientes, la conductividad eléctrica, el déficit de oxígeno y la supersaturación de oxígeno en la zona superior de los lagos y embalses; y, en los biológicos, aumenta la frecuencia de floraciones de fitoplancton, básicamente de cianobacterias; la biomasa de fitoplancton; la concentración de clorofila; la biomasa del zooplancton y la biomasa de la fauna bentónica. Por otro lado, en los sistemas eutróficos disminuyen los siguientes parámetros: la transparencia del agua y la morfometría, en lo relacionado con los aspectos físicos, y la diversidad de fitoplancton y de la fauna bentónica en lo que respecta a los criterios biológicos.

Por medio de estudios realizados en diferentes lagos, se han logrado establecer técnicas para la recuperación de la calidad del agua en lagos y embalses eutrofizados, las cuales se han agrupado en tecnologías ambientales y en ecotecnologías. La primera intenta, por medio del uso de tecnología de tratamiento del agua, eliminar o reducir los componentes indeseados en las aguas servidas que entran al cuerpo de agua. Se usa, principalmente, para resolver los problemas de fuentes puntuales. Se trata de una medida de control externo. Por su parte, la ecotecnología (ingeniería ecológica) trata de modificar el ecosistema para acelerar el proceso de restauración o reducir las concentraciones de los componentes indeseados en los lagos o en sus afluentes naturales. Se usa, sobre todo, para resolver los problemas de fuentes no puntuales, como las provenientes de áreas urbanas y agrícolas, para mejorar la resistencia del ecosistema a la contaminación y acelerar la transferencia hacia un estado más favorable. Puede ser considerada una medida de control interno y externo.

Entre las medidas de control externo están, en primer lugar, la protección de la cuenca de drenaje, con reforestación, cambio en el uso de la tierra y tratamiento de las aguas servidas. En segundo término, está la construcción de preembalses, y en tercero, el control de nutrientes en los afluentes.

Las medidas de control interno, por su parte, se pueden dividir en tres tipos de manipulación: físicas, químicas y de la biota. Las primeras, de las que trataré más adelante a partir de un interesante caso venezolano, consideran la desestratificación térmica y la mezcla, la aireación de hipolimnion y la extracción selectiva de agua. Las químicas incluyen la precipitación interna de nutrientes, y el sellado y remoción de sedimentos. Finalmente, la manipulación de la biota se refiere a la cosecha mecánica, a las medidas de control del uso de herbicidas, pesticidas, biomanipulación, etcétera.

Para controlar estos nutrientes hay 8 métodos que se pueden aplicar, solos o combinados; me limitaré a mencionarlos: remoción, desvío de nutrientes, dilución y lavado, precipitación de fósforo, inactivación, oxidación de los sedimentos, aireación y remoción de sedimentos.

Es importante destacar que una sola técnica, aplicada por separado, para tratar los problemas de la calidad del agua, no resuelve los problemas de eutrofización. Dada su complejidad, debe aplicarse una combinación de medidas, dependiendo del origen del problema.

Aquí, en Venezuela, se ha dado un caso importante de recuperación de la calidad del agua. Es el caso del embalse Pao-Cachinche, que suministra de agua potable a las ciudades de Maracay, Valencia y San Carlos, el corazón industrial del país, en el centro norte de Venezuela, con alrededor de 2 millones de habitantes. A este embalse llegan aguas sin tratamiento o con uno inadecuado, desde Valencia, y aguas residuales de más de 300 granjas avícolas y porcinas. Así, sus tributarios introducen altas concentraciones de nutrientes al embalse y las floraciones de cianobacterias son comunes en la estación de lluvias.

Luego de una caracterización limnológica, se sugirió a las empresas hidrológicas que administraban este embalse, la aplicación de la medida de desestratificación artificial, la cual se inició en noviembre del 2001 y que, luego de un año de operación continua, controló efectivamente los efectos de la eutrofización. Así, representó el primer y único caso de mejoramiento de la calidad de agua de un embalse venezolano.

Este trabajo consistió en que, en el brazo occidental del embalse, donde se encuentran la torre de captación de agua y la represa, se instalaron, a 1 o 2 metros sobre el fondo del embalse, 6 tuberías y 6 líneas de aireación. En estas se hizo circular aire comprimido, que salía de esas tuberías a través de orificios de 1 a 2 milímetros de diámetro; en esta región se generó una cortina de burbujas de aire que inactivaron el fósforo, al oxidarlo. El fósforo inactivado no es soluble y, por lo tanto, no puede ser tomado por el fitoplancton. Este efecto se notó en, aproximadamente, un 30 % del embalse.

La situación previa a la aireación, cuando se inició el estudio, era que la temperatura de los estratos intermedios se mantuvo en 27 grados centígrados, a los 6 metros, durante todo el periodo del estudio. A partir de allí predominaban condiciones de hipoxia y anoxia (agotamiento del oxígeno disuelto) hacia el fondo, lo cual nos indicaba la calidad del agua inadecuada que teníamos ahí. La situación posterior a la aireación fue que toda la columna de agua, con la misma temperatura, desde la superficie hasta el fondo, se oxigenó. Después de esta desestratificación artificial, se logró aumentar la transparencia del agua, se perdió la estratificación térmica, disminuyeron las concentraciones superficiales de oxígeno disuelto, en comparación con los valores previos, y aumentaron en los estratos profundos. Asimismo, disminuyó el pH de las aguas superficiales, disminuyeron las concentraciones de fósforo, amonio y nitrógeno, se homogeneizaron las condiciones físicas y químicas del agua, y dejaron de observarse las floraciones de cianobacterias, entre otros resultados.

Este caso representó un buen ejemplo de interacción entre científicos, gerentes, universidades y compañía hidrológica, gracias a lo cual se consiguió el mejoramiento de la calidad del agua de un embalse, utilizado para suministrar agua potable a la población.

Se puede concluir que el conocimiento científico ha permitido familiarizarse con la dinámica ecológica y detectar los problemas que aquejan a los cuerpos de agua, así como proponer medidas para su protección y recuperación. Para controlar la eutrofización existen varias técnicas, en las que el control de la entrada de nutrientes, especialmente de fósforo y nitrógeno, es importante. De igual modo, se debe tener en cuenta que, para la protección de los cuerpos de agua y sus cuencas, es imprescindible la interacción de todos los actores de la sociedad: científicos, políticos, empresas, usuarios, comunidades.



**Donald Anderson**

Institución Oceanográfica de Woods Hole, Massachussets

En mi conferencia retomaré el tema planteado por el doctor Roldán y repasaré algunos de los impactos de la eutrofización, de lo que se conoce como marea roja y marea verde. Es diferente mirar el mar o una linda playa a la distancia, que ver sus aguas en un microscopio. En este veremos miles de especies de plantas y algas, algunas de las cuales pueden ser tóxicas y peligrosas. Hay muchos testimonios y evidencias que muestran a cientos y miles de peces, y a otras especies de la fauna marina, muertos en las orillas del mar. Esto se ha visto en Corea del Sur y Japón, entre otros países. Del mismo modo, hay lagos cubiertos de algas, como ocurre en el lago Taihu, en China, y seguramente en varios cuerpos de agua similares.

Un caso extremo de contaminación fue el ocurrido hace algunos años en el lago Erie, al noroeste de Ohio, donde se detectó floración de algas nocivas (HAB, por sus siglas en inglés) para los humanos. Como resultado, medio millón de personas se quedaron sin agua potable algunos días, mientras se removían las algas contaminantes. En general, en los Estados Unidos el incremento de puntos rojos ha sido significativo desde el 2012, cuando se podía ver la contaminación en ciertos estados, calificados con puntos verdes. Hoy la contaminación no solo se ha expandido a todo el país, sino que se ha agravado. Y esta tendencia es cada vez más frecuente y se ha propagado en todo el mundo, tanto en aguas marinas como en aguas dulces. Los posibles mecanismos de esta expansión son la dispersión de las especies por eventos naturales, el incremento de la acuicultura y la dispersión de las actividades humanas. La eutrofización, como fuente de nutrientes, es un alimento para las plantas, con serias consecuencias para la salud de las aguas.

Hay tendencias que sirven como indicadores para el futuro: por un lado, la población mundial está creciendo, lo cual exige mayor producción agrícola; por otro lado, la acuicultura se está incrementando. Estas y otras son causas de la eutrofización en los sistemas marinos y de agua dulce, y los impactos son una amenaza constante para la salud humana y los ecosistemas. Es probable que estos problemas aumenten en frecuencia, diversi-

dad y distribución geográfica en los próximos años. Esta situación se debe enfrentar con el monitoreo y la mitigación de los HAB y la predicción. Este es un reto para el futuro, que solo será eficaz si se aplican estrategias de mitigación, monitoreo y predicción, que reduzcan los aportes de nutrientes a los cursos de agua.

Nos enfocaremos en la mitigación, para lo cual hay diversos métodos, entre ellos, la actualización de las plantas de tratamiento de aguas residuales, el manejo adecuado de las aguas pluviales, la reducción del exceso de fertilizantes en la agricultura, y la utilización de estanques de retención y humedales para interceptar y asimilar las cargas de nutrientes. Ya se ha demostrado, repetidamente, que su reducción es la forma más eficaz para el control sostenido de los elementos nocivos del agua, aunque los resultados sean de muy largo plazo. Puede haber nutrientes que se regeneren y salgan nuevamente del fondo del agua; por tanto, son procesos muy lentos. El intento de ir directamente a la supresión o control de los HAB es un desafío para la ciencia; puede ser riesgoso, razón por la cual los científicos muchas veces desisten de este método. Aun así, se han logrado más avances en el control de las algas en aguas dulces que marinas, debido a la extensión del cuerpo de agua y a sus dinámicas. Y hay muy pocas opciones que funcionan para el tratamiento de cuerpos de agua demasiado extensos.

En la mitigación de los HAB en aguas dulces, se usan mayormente el aireado profundo, que reduce la regeneración de nutrientes; el dragado de sedimentos; el uso de peróxido de hidrógeno, que destruye ciertas toxinas; el ozono y ultrasonido, que destruyen las células de las algas; y los alguicidas, entre otros.

Para la mitigación en aguas marinas, los métodos son más reducidos. Podemos contar la aireación profunda, que se usa para proteger a los peces que se encuentran en jaulas; los alguicidas, cuyo uso no siempre es autorizado en aguas marinas; el ozono y el biocontrol, que pueden no ser eficaces en aguas marinas de gran extensión; y la floculación de arcilla, uno de los más prometedores, usado extensivamente en Corea del Sur y China. La arcilla tiene una estructura en capas, que generan una carga negativa en la capa exterior. Lo que han hecho en China es agregarle un polímero (polialuminio clorhídrico), que actúa como fuerza de atracción. Lo han hecho a gran escala, con innumerables embarcaciones y a lo largo de todo su litoral. Utilizan entre 4 y 10 toneladas de esta arcilla modificada, por kilómetro cuadrado. El costo es de 500 dólares por tonelada, lo cual quiere decir que se

invierten entre 2000 y 5000 dólares por kilómetro cuadrado. En los Estados Unidos intentamos utilizar estos métodos, pero estamos muy retrasados en su aplicación, debido a que los trámites y permisos son complicados. Lo hemos estado haciendo en pequeños canales, en 1500 a 2000 metros cuadrados, y en reducidas áreas de experimentación.

En conclusión, las floraciones de algas nocivas son un problema global, tanto en agua dulce como marina; no hay duda de que afectarán al Perú y al resto de países de América Latina. Para que sea eficaz, la gestión tiene que ser multifacética. Para muchos HAB, se requiere una combinación de estrategias de reducción de nutrientes de largo plazo y de control directo de las floraciones. El control directo de las floraciones es un desafío significativo; particularmente, para las floraciones en grandes lagos y aguas costeras abiertas. La vigilancia de las floraciones tiene sentido para industrias de alto valor; por ejemplo, las grandes operaciones de crianza de peces. La estrategia más prometedora para el control de HAB a gran escala es el método de dispersión de arcilla modificada, aun cuando otras estrategias novedosas están en desarrollo.



Los grandes cuerpos de agua: mares, ríos, lagos, se caracterizan por su continuo movimiento; sin embargo, en algunos lugares, el agua no se mueve con facilidad, lo cual genera eutrofización. Mi exposición tratará sobre este problema a partir de mi experiencia, en casos concretos, a lo largo de 30 años de trabajo.

En este momento puedo ver el mar; lo tengo al frente. Salgo de aquí y, para dirigirme hacia el norte de Lima, paso muy cerca de la desembocadura del río Rímac. En ese camino es doloroso ver los bancos de las riberas del río completamente colmatados de basura, esperando que suba el nivel del río para arrastrar los desperdicios. Así, el mar se convierte en un agente receptor de toda la actividad humana. Es cierto que tiene una gran capacidad de resiliencia y de sobreponerse gracias al movimiento de las olas, pero esto también tiene un límite. En muchos lugares de nuestro país y del mundo, el mar está perdiendo esta capacidad de oxigenarse y responder favorablemente. En algunos estudios realizados en el Perú, vemos que la eutrofización se está dando en algunas bahías. Ya se han encontrado evidencias en las bahías de Talara y Paita, en Piura; Paracas, en Ica; e Independencia, en Moquegua, que muestran puntos amarillos, y las bahías de El Ferrol, en Chimbote, y el Callao, que muestran puntos rojos.

De las bahías mencionadas, se ha tomado la bahía El Ferrol como caso de estudio de efectos negativos. Esta bahía, que es preciosa, tiene todos los componentes contaminantes: hay actividad agrícola muy cercana, que vierte a la bahía sus desechos con compuestos de nitrógeno y fósforo. También hay empresas formales e informales de harina de pescado, que vierten sus desagües en la bahía, donde las aguas tienen muy poco movimiento. Asimismo, existe prácticamente una ciudad de embarcaciones que permanecen ahí, con una interacción que termina siendo perjudicial. Este es un ejemplo destacable en el Perú; las relaciones que existen entre las actividades económicas y las alteraciones que producen ponen en riesgo el ambiente marino en esa área.

Sabemos que la pesca es una actividad muy importante en nuestro país; al respecto, me voy a referir a la anchoveta, utilizada para la producción de



harina de pescado. En este caso, se da una paradoja, pues la anchoveta se desarrolla bastante bien en espacios con poco oxígeno. Sin embargo, considero que es fundamental realizar tareas de monitoreo; nos urge un sistema efectivo para controlar los niveles de oxígeno o de eutrofización en bahías cerradas o semicerradas de nuestro litoral, que nos den campanadas de alerta sobre los problemas que se puedan presentar.

Recordemos también que, en los últimos años, ha habido un importante crecimiento de la agricultura de exportación en la costa del Perú. Sabemos que este desarrollo está aparejado al mayor uso de pesticidas, lo cual contribuye a la contaminación de las aguas, porque es allí donde van a terminar. Las bahías de Paracas e Independencia ya están manifestando síntomas de eutrofización, con la disminución de la cantidad de oxígeno.

Resumiendo: considero que son dos las causas del incremento de la eutrofización en las bahías de la costa, iniciada 10 o 15 años atrás: la migración del campo a la ciudad y la aparición de nuevos poblados, sobre todo en Lima y Callao, y la agroexportación.

En lo concerniente al lago Titicaca y la grave eutrofización que presenta, una de las causas es el crecimiento exponencial de la ciudad de Puno; por otro lado, los sistemas de tratamiento de aguas servidas han sido inexistentes o ineficientes por mucho tiempo, lo cual ha provocado que enormes cantidades de vertimientos lleguen al lago con la consiguiente eutrofización y presencia de plantas, consecuencias que son evidentes en la bahía de Puno. Aunque se vienen haciendo trabajos de limpieza, esta sigue siendo una situación complicada.

En cuanto a la Amazonía, la dinámica fluvial ha generado algunos problemas, sobre todo cuando las ciudades crecen mucho, como es el caso de Pucallpa, donde el río Ucayali cambia su curso y los residuos domésticos que se vertían en el río, al cambiar el cauce, forman una especie de laguna y se pierde la capacidad del río de transportar estos residuos. Nuevamente, la generosidad de la naturaleza ha hecho que el río retome el cauce con la consecuente disminución del problema; sin embargo, permanece la necesidad de tratar las aguas que vertimos a los grandes cuerpos de agua.

Situación similar es la ocurrida en Iquitos, la ciudad más grande de la Amazonía. Iquitos vierte sus residuos a dos ríos: Itaya y Nanay, que rodean la ciudad y se convierten en receptores directos de un porcentaje significativo de los residuos domésticos. Caso especial es el de Belén, un poblado

ubicado a orillas del río Itaya, que por su poco movimiento de aguas resulta bastante contaminado.

Tomaré el caso de la ciudad de Iquitos para mostrar otro aspecto importante de la contaminación, que tiene que ver con las características físicas del territorio amazónico. Si bien se hizo un trabajo para canalizar y tratar las aguas de la ciudad, se dejó de lado a alrededor de un 40 % de la población, que vive en un nivel ligeramente más bajo que las calles principales, en la ribera del río, donde incluso una gran cantidad de personas vive en palafitos o casas flotantes. Aquí resultó más sencillo canalizar los desagües hacia el río que subirlos hacia la avenida por donde pasa el colector de aguas servidas, para llegar hasta la planta de tratamiento.

En su conferencia, el doctor Roldán mencionó el concepto de gobernanza. Al respecto, considero que el conocimiento que tengan las autoridades, así como la toma de decisiones es trascendental para la solución de este tipo de problemas.



COLOQUIO  
**CIENCIA Y  
SOCIEDAD**

**CALIDAD DEL AGUA:  
SALUD DE LOS ECOSISTEMAS  
Y SALUD HUMANA**

Mesa 3

## **Agua y minería**

**Conferencista**

**Francisco Barbosa**

Universidad Federal de Minas Gerais

**Panel**

**Julia Torreblanca**

Sociedad Minera Cerro Verde

**Lucía Ruiz**

Consultora

**Tulio Santoyo**

Autoridad Nacional del Agua

**Moderador:**

**José Macharé**

Instituto Científico del Agua y Academia Nacional de Ciencias



## Recursos minerales, agua y biodiversidad

**Francisco Barbosa**

Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología en Recursos Minerales,  
Agua y Biodiversidad

Los minerales y los metales desempeñan un papel clave en el sustento de la prosperidad de las civilizaciones actuales y futuras, como lo han hecho en el pasado los avances logrados en las edades del bronce y del hierro, respectivamente (Giurco & Cooper, 2012). En sociedades sustentables futuras, se requerirá que los recursos minerales se produzcan y usen con el mayor ingenio y sabiduría para garantizar los criterios de sustentabilidad; asimismo, que los objetivos sociales y ambientales se cumplan durante todo el ciclo de vida de estos productos (Meadows et al., 2004, p. 258).

Pese a la importancia de los recursos minerales, tenemos que aceptar que existen muchos problemas y retos por enfrentar; particularmente, frente a la responsabilidad ambiental. La minería perturba y daña áreas naturales y su biodiversidad, y los gastos de reparación no se incluyen en el precio para los consumidores en la mayoría de los casos. Asimismo, impacta en la destrucción de la vegetación, en la erosión, consumo de agua y la generación de polvo; consume ingentes cantidades de agua y contamina ríos y lagos (por ejemplo, con arsénico o plomo), debido al drenaje ácido de las minas (AMD) y a la gran producción de relaves, lo que aumenta la contaminación y el consumo energético, con altas emisiones de dióxido de carbono.

### Agua y biodiversidad en áreas mineras

Para hablar de biodiversidad, varios son los puntos clave. Así, en primer lugar, no se puede ver el agua solo como un commodity, sino también como un recurso valioso y limitado. En segundo lugar, el consumo de agua tiene que ser considerado en el sector minero; por ejemplo, el pago por servicios ecosistémicos.

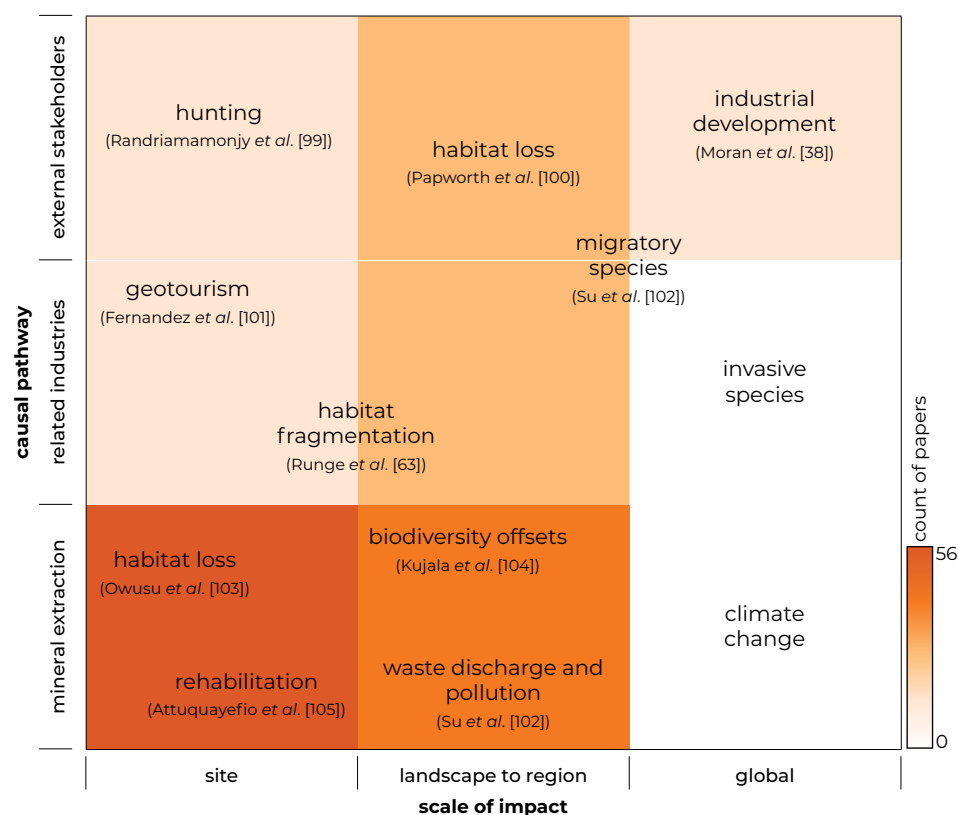
Un tercer punto se refiere a que el agua alberga una gran biodiversidad y una rica biota acuática. El cuarto asunto es que debe haber una coexistencia

entre minería y las agendas de preservación, con una evaluación y planificación estratégicas a largo plazo. La minería puede ser un medio para lograr el bienestar financiero y vías de subsistencia alternativas, pero también para prevenir la pérdida de biodiversidad (Sonter et al., 2018).

En la siguiente figura se pueden apreciar los impactos de la minería en la biodiversidad a través de su escala espacial y sus caminos causales, definida como una causa próxima de impacto a la biodiversidad que se relaciona con la industria minera, con las actividades vinculadas a la minería; por ejemplo, procesamiento de minerales o infraestructura de transporte o con las partes interesadas externas, como los agricultores de la zona.

**Figura 1**

*Impactos de la minería en la biodiversidad. Fuente: Sonter et al. (2018).*



Fijémonos en los indicadores que tenemos. Aún se sabe muy poco sobre estos impactos a escala global, es solo un recordatorio para cambiar nuestro punto focal. Hay que resaltar que las actividades mineras comienzan en el tajo, pero se extienden a través de una larga red de interacciones dentro del paisaje circundante, donde hay carreteras, escuelas, comercios, ciudades, y tenemos también el paisaje minero en sí. Para analizar este asunto, me centro en las dimensiones de sostenibilidad. A continuación, el modelo de cinco capitales.

### **Dimensiones de la sostenibilidad: el modelo de los cinco capitales**

El modelo de los cinco capitales (Forum for the Future, s. f.) proporciona una base para comprender la sostenibilidad en términos del concepto económico de creación de riqueza o “capital”. Cualquier organización utilizará cinco tipos de capital para entregar sus productos o servicios. Una organización sostenible mantendrá y, de ser posible, mejorará estas existencias de activos de capital, en lugar de agotarlas o degradarlas. Hay cinco tipos de capital sostenible de donde se obtienen los bienes y servicios para mejorar la calidad de vida de las personas. Son los siguientes:

- a. Capital natural: stock o flujo de energía y material que produce bienes o servicios.
- b. Capital humano: salud, conocimientos, habilidades y motivación de las personas.
- c. Capital social: las instituciones que ayudan a mantener y desarrollar el capital humano en asociación con otros: familias, comunidades, empresas, sindicatos, escuelas y organizaciones voluntarias.
- d. Capital financiero: juega un papel importante en nuestra economía. Permite que los otros tipos de capital sean adquiridos o negociados. Pero, a diferencia de los otros tipos, no tiene valor real en sí mismo, sino que es representativo del capital natural, humano, social o manufacturado; por ejemplo, acciones, bonos o dinero.
- e. Capital manufacturado: bienes materiales o activos fijos que contribuyen al proceso de producción en lugar de ser el producto en sí. Por ejemplo, herramientas, máquinas o edificios.

El modelo de los cinco capitales se puede utilizar para que las organizaciones desarrollen una visión de cómo es la sostenibilidad para sus propias operaciones, productos y servicios.

El modelo de los cinco capitales está en uso, como parte del enfoque de operaciones sostenibles (SUSOP®) para incorporar principios de desarrollo sostenible en el diseño y operación del procesamiento de minerales (Corder et al., 2010).

En el enfoque Mineral Resources Landscape<sup>1</sup> (MRL) y el modelo de los cinco capitales se requiere un cambio de paradigma, ya que los clasificadores utilizados en este se han adaptado para abarcar los dominios ecológico, tecnológico, económico, social y de gobernanza, que interactúan y dan forma al comportamiento dinámico del MRL (Giurco y Cooper, 2012).

Los siguientes son los ámbitos en el MRL:

- a. Ecológico: se asigna en gran medida al capital natural y representa los recursos del entorno natural y los procesos del ecosistema.
- b. Tecnológico: es un subconjunto del capital manufacturado; también incluye edificios e infraestructura, pero se prioriza en el MRL para resaltar el papel de la innovación en tecnologías tanto para la minería como en la forma en que opera el sistema de producción y consumo y uso de minerales. Los edificios y los elementos de infraestructura del capital manufacturado se asumen en el elemento “uso: nivel de servicio y valor” del paisaje.
- c. Económico: incluye el capital financiero (moneda, acciones, etc.) y los sistemas económicos que rigen la producción/consumo y el valor de los minerales.
- d. Social: combina capital social y humano, así como consideraciones políticas.
- e. Gobernanza: se añade para incluir acuerdos de gobernanza voluntarios, así como cuestiones legales y reglamentarias.

A partir de lo anterior, podemos pensar en cuatro temas específicos:

- Recursos
- Tecnologías para extracción y procesamiento
- Uso, incluido el valor incrustado y el servicio proporcionado por el uso final del metal
- Tasas de producción y consumo

---

<sup>1</sup> Cooper y Giurco (2011) desarrollan el MRL, una conceptualización ampliada de la sostenibilidad de los recursos minerales, que abarca la producción, el consumo y el reciclaje, y conecta los dominios sociales, ecológicos, tecnológicos, económicos y de gobernanza, a través de escalas locales y globales.

En cuanto a la sostenibilidad, debemos aclarar sus dimensiones. Una sostenibilidad débil supone que el capital manufacturado es intercambiable con el capital natural y que a través de estas transferencias de capital se mantiene la equidad intergeneracional. En una sostenibilidad fuerte, el capital manufacturado y el natural no son intercambiables, y los capitales humanos, ambientales y económicos deben sostenerse independientemente entre sí, a través de generaciones.

El propósito del MRL es proporcionar una base para comprender mejor el panorama que rodea a la minería mediante el mapeo de problemas para identificar áreas de enfoque faltantes y puntos de influencia potenciales para un panorama más sostenible. El MRL es una nueva visión de la minería por lo que se describe a continuación:

- Promueve conexiones. Son ejemplos Brasil-EIA/RIMA (Evaluación de Impacto Ambiental/Informe de Impacto Ambiental) y PRAD (Programa de Recuperación Ambiental Posterior al Cierre).
- Anticipa impactos e integra la gestión y conservación de los recursos naturales.
- Concilia las actividades mineras y otros sectores/actividades de la sociedad.
- Promueve la responsabilidad compartida con otros sectores.

### **MRL: un paso hacia el futuro**

Los desarrollos minerales a gran escala tienen una gran influencia en la región donde se instalan. Las actividades locales (ampliación de plazas en escuelas, comercio local) están determinadas por la actividad predominante: la extracción de mineral. La rigidez de la ubicación del depósito no debe ser preponderante en la aprobación del proyecto, ya que la evaluación debe incluir todas las demás actividades y recursos naturales existentes en la región.

Es fundamental establecer con los interesados indicadores claros y consensuados que muestren un tipo de retorno para las comunidades que comparten el territorio y permitan la construcción de futuro para después del agotamiento de los yacimientos minerales. EL MRL va más allá de un Programa de Recuperación Ambiental Posterior al Cierre (PRAD, por sus siglas en inglés).

Una minería moderna y responsable deberá incluir en el plan minero todas las demás actividades humanas existentes en el área definida, junto



con el estado de conservación ambiental de estas áreas, lo que significa una evaluación previa (Evaluación de Impacto Ambiental/Informe de Impacto Ambiental [EIA-RIMA]) de las condiciones y planificación detallada del Programa de Recuperación Ambiental Posterior al Cierre (PRAD) de la actividad minera.

Para una minería moderna y responsable proponemos:

- Licencias socioambientales (que incluya flora, fauna y personas, pues no son entidades separadas). Debe haber una responsabilidad compartida entre todos los sectores involucrados: demandas futuras explicitadas para garantizar sus acciones en el entorno restaurado.
- Se debe implementar el Estándar Global de la Industria para la Gestión de Relaves 2020 (Global Tailings Review, s. f.)

El Estándar Global de la Industria para la Gestión de Relaves 2020 está compuesto por seis áreas temáticas, 15 principios y 77 requisitos auditables. Estará respaldado en última instancia por protocolos de implementación que proporcionarán una guía detallada para la certificación, o aseguramiento, según corresponda, y para la equivalencia con otros estándares.

Las seis áreas temáticas son las siguientes:

1. Comunidades afectadas
2. Base de conocimientos integrada
3. Diseño, construcción, operación y monitoreo
4. Gestión y gobernanza
5. Respuesta de emergencia y recuperación de largo plazo
6. Divulgación pública y acceso a la información

Entre los 15 principios mencionados, destaco el Principio 14 “Preparación para la recuperación a largo plazo en caso de una falla catastrófica”, cuyos requerimientos se detallan a continuación:

- Involucramiento con agencias del sector público para participar en estrategias de respuesta posfalla.
- Evaluar los impactos sociales, ambientales y económicos locales.
- Trabajar con los gobiernos y los planes de recuperación de las partes interesadas.
- Permitir la participación de las personas afectadas.
- Informar los resultados posteriores a la falla.

En cuanto al futuro de la minería y la conservación de la biodiversidad, es preciso reconocer los límites de la coexistencia y convivencia de la minería y las áreas protegidas. Tiene que haber un compromiso de no minar en áreas particularmente sensibles, como los sitios del patrimonio cultural y mundial, pues ello promueve la pérdida, degradación y fragmentación del hábitat. En ese sentido, deben minimizarse las actividades que afecten el ambiente.

De otro lado, podrían aplicarse la fitominería y fitorremediación, que se orientan al aprovechamiento de plantas, incluidas las cianobacterias, como organismos importantes para mitigar la acumulación de metales. Incluso, podría negarse la extracción químicamente intensiva de algunos metales.

Tiene que darse, de acuerdo con Sonter et al. (2018), una creación de escenarios bastante robusta para predecir los impactos potenciales en todas las escalas. Un ejemplo sería el impacto positivo neto de la minera Rio Tinto en Madagascar, donde se protegieron 60 000 hectáreas de bosques tropicales. Es posible una minería en un mundo sostenible, un mundo en el que la minería aporte beneficios reales a las personas y los lugares donde viven, que reduzca sustancialmente el riesgo para sus vidas y que, de hecho, contribuya a lograr el desarrollo sostenible.

## Referencias

- Corder, G., McLellan, B. & Green, S. (2010). Incorporating sustainable development principles into minerals processing design and operation: SUSOP®. *Minerals Engineering* 23(3), 175-181.
- Forum for the Future. (s. f.). *The Five Capitals Model - a framework for sustainability*. <https://www.forumforthefuture.org/the-five-capitals>
- Global Tailings Review. (s. f.). <https://globaltailingsreview.org/>
- Giurco, D. & Cooper, C. (2012). Mining and sustainability: asking the right questions. *Minerals Engineering*, 29, 3-12.
- Sonter, L. J., Ali S. H. & Watson J. E. M. (2018). Mining and biodiversity: key issues and research needs in conservation science. *Proc. R. Soc. B*, 285: 20181926. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2018.1926>
- Meadows, D. H., Randers, J. & Meadows, D. L. (2004). *Limits to Growth: The 30-Year Update*. Chelsea Green Publishing Co., White River Junction, Vermont.



¿El agua y los recursos minerales son excluyentes? Comienzo con esta pregunta que se planteó al inicio de este evento. ¿Cuál de los dos puede dar mayor valor a un país? Yo creo que son los dos: se necesita el agua para todas las actividades humanas y también se necesitan los recursos minerales para la vida y para sostener la economía. El doctor Barbosa ha tratado temas que nos preocupan a todos y lo ha hecho de manera muy clara y específica.

Empiezo mencionando que las legislaciones, como la peruana, ya se han preocupado de ir regulando las actividades de la industria minera. Por ejemplo, para que un emplazamiento minero proceda se requiere tomar en cuenta una evaluación ambiental completa. En Cerro Verde, hablamos de evaluaciones ambientales y sociales porque para nosotros ambas son fundamentales para definir la viabilidad de una inversión minera. La evaluación completa es muy importante, considerando que, en el caso nuestro, tenemos un gran depósito minero de baja ley de cobre.

La Unidad de Producción Cerro Verde se desarrolla en Arequipa desde la llegada de los españoles, quienes empezaron a explotarla de manera obviamente incipiente. A fines de 1800 y principios de 1900, Anaconda Mining se hizo cargo de Cerro Verde; en 1970 Minero Perú asume, como empresa pública, la gestión de la unidad de producción. Cerro Verde fue una de las primeras empresas en el mundo, en realidad la tercera en el mundo y la segunda en América, en aplicar el método de lixiviación para producir cátodos de cobre. Ahora, es una de las principales productoras de cobre no solamente de cátodos, sino también concentrados de cobre, gracias a las expansiones desarrolladas entre 2004-2006 y la que terminamos entre 2015-2016. Esta última inversión, por ejemplo, fue de 5,3 billones de dólares; en ambos casos no se hubieran podido realizar si no se hubiera contado con suficiente agua para desarrollar la metodología de flotación, que es la que se requiere para producir concentrados de cobre a partir de sulfuros secundarios o primarios. Por eso —decía— para oro o cobre, el agua es complemento. Entonces, una de las razones para privatizar Cerro Verde fue que

Minero Perú no tenía suficiente recurso hídrico para continuar el desarrollo mineralógico de su depósito de cobre y sustentar la construcción de las dos concentradoras que sí ha podido materializar Cerro Verde en los últimos 15 años. ¿Cómo se logró hacer? En primer lugar, porque se pudo contar con el capital necesario, pero al mismo tiempo se pudo identificar el agua requerida, pues el capital no ayuda a que llueva en una región determinada.

Entonces, tuvimos que trabajar mucho más revisando alternativas disponibles en nuestra zona, lo que nos ha permitido conocer mejor nuestra Arequipa, así también a cada uno de los grupos de interés con los que interactuamos. Empezamos trabajando con las juntas de usuarios y el comité multisectorial —como se denominaba antes en Arequipa—, en el que están representados todos los usos de agua: agrícola, poblacional, energético, minero, entre otros, para entender cuáles eran las prioridades que todos y cada uno teníamos en la región y cuáles nuestras necesidades.

Al final, vimos que el común denominador era que todos necesitábamos agua: para la agricultura, para el consumo humano y obviamente Cerro Verde, que venía esperando esa agua para construir las concentradoras que terminamos con éxito en el 2016, como mencioné anteriormente. Empezamos a revisar qué alternativas teníamos. Sabemos que no podemos hacer llover, pero trabajando con la Empresa de Generación Eléctrica de Arequipa (Egasa) encontramos proyectos para construir represas en las alturas de Arequipa y regular mejor el agua que se perdía en el océano todos los años —en épocas como esta entre enero y marzo— y que causaba destrozos en sus avenidas a muchos agricultores y ganaderos, que perdían sus cultivos, ganado, dinero y sus vidas, como consecuencia de la gran cantidad de agua que discurre por el río Chili cada vez que llueve.

Así, cofinanciamos con Egasa dos represas, primero Pillones, que añadió al sistema regulado 80 millones de metros cúbicos de agua; después Bamputañe, que aportó 40 millones más. Gracias a esta infraestructura —cofinanciada por una empresa pública y una empresa privada, en este caso, Cerro Verde— se pudo obtener no solo el agua que necesitaba Cerro Verde para su expansión el 2004, sino que también se pudo dotar de mayor agua para el consumo humano para las personas que se han instalado en la Ciudad Blanca y sus alrededores, pues la población de Arequipa se ha venido incrementando debido a la migración y se requieren los servicios apropiados. Gracias al mayor recurso disponible, 350 000 personas se han podido beneficiar recibiendo agua potable, que antes era abastecida de manera

precaria mediante camiones-cisterna, baldes o piletas públicas. Pues, además, Cerro Verde, coordinando con todos estos actores de la cuenca del río Chili, decidió cofinanciar primero las presas, y luego financiar y construir íntegramente una planta de agua potable, que en el 2007 nos empezó costando 90 millones de dólares y, al terminarla, el 2011, costó 120 millones de dólares. Esta planta de agua potable ahora es administrada por Sedapar.

Este fue el inicio de lo que nosotros llamamos el “círculo virtuoso del agua” y que nos ha permitido descubrir la gran oportunidad de poder dialogar con todos nuestros grupos de interés en torno al líquido elemento. Y, así, Arequipa se ha beneficiado con la generación de empleo, pero no solo eso, sino que Cerro Verde cerró el círculo con la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales. Antes de ello, hasta diciembre de 2015, los desagües llegaban prácticamente crudos al río Chili y con esa agua se regaban el apio, la cebolla, el ajo, contaminación que llegaba a la mesa del consumidor.

Nuestra última expansión se hizo pensando en la gente. Se optó por la planta de tratamiento porque era necesaria, a pesar de que era muy difícil concretarla. Fue una decisión empresarial sustentable. Ahora esta planta trata el 95% del desagüe doméstico de Arequipa Metropolitana; permite que Cerro Verde produzca cobre para el mundo y pague los impuestos y regalías que corresponden, pero a la vez limpia el río Chili; la flora y la fauna se han recuperado; asimismo, la salud de los arequipeños ha mejorado, pues el índice de enfermedades gastrointestinales se ha reducido; resultados que redundan en un ahorro significativo para el Estado. Este es un ejemplo de economía circular: estamos logrando el reúso del agua. Nos enorgullece todo lo que se ha logrado, que no solo es obra de Cerro Verde, sino de todos: autoridades, líderes sociales y agricultores de Arequipa.

El tema de los multiactores y la aprobación del trabajo conjunto alrededor de un proyecto es parte de la sostenibilidad. En la ponencia del Dr. Barboza ya se explicó que hay que ir más allá del impacto físico. Obviamente, no hay un impacto mayor que cuando se abre un tajo y se remueve el material del suelo para poder extraer el mineral con valor. Trae muchos beneficios sí, pero cuando se cierra una operación minera, no puede decir “quedó tal y como estaba antes”, por lo que es de interés de todos que las operaciones apliquen programas de mitigación ambiental y social, y que los impuestos y regalías que pagan sean adecuadamente invertidos por los gobiernos locales y regionales.

Cuando se hace este estudio de impacto ambiental integral —que comentaba al principio, y que es regulado por nuestra legislación—, se evalúa en 360 grados y se va más allá del impacto solamente ambiental o el impacto físico; porque, al final, toda actividad humana tiene un impacto. Cuando se usa jabón o champú ya se genera un impacto. Justamente, lo que se valora en el caso de la gran minería es la magnitud del impacto, cómo se mitiga el negativo y se potencia el impacto positivo. Por otro lado, existe la minería ilegal que es una actividad que no es evaluada, a la que me referiré más adelante.

Según mi modo de ver, todos estamos alineados y entendemos perfectamente los cinco capitales que se han mencionado en la ponencia central, y creo que todos tenemos que trabajar en ese sentido. Esta tarea no es solo de las empresas mineras, sino de las entidades públicas y de todos los sectores que hacemos patria. En cuanto a las políticas públicas, opino que deben ser para todos.

La minería es la actividad más regulada en el Perú. Lo cual está bien porque garantiza la salud y seguridad de nuestros trabajadores, las comunidades de nuestro entorno y el medioambiente. Sin embargo, solamente la minería legal es regulada y supervisada. Existe mucha minería ilegal en zonas de selva, en Arequipa y en otros lugares, que sin observar normas y medidas ambientales depreda el territorio sin generar rédito para el Estado peruano —no se pagan impuestos ni regalías—, el trabajo no es formal, se expone la salud e integridad de trabajadores, hay delincuencia. Precisamente, es eso lo que necesitamos mejor regular y simplificar los trámites con procedimientos céleres para ayudar a que las personas que trabajan en fuentes minerales peruanas puedan cumplir las normas, cuidar su salud, proteger el patrimonio arqueológico, la biodiversidad y el medioambiente.

Creo que todos estamos comprometidos para que estas políticas públicas sean accesibles, claras y fáciles de cumplir. Sin embargo, hay un doble estándar en el Perú que necesitamos corregir para lograr que las políticas públicas sirvan a todos y benefician a más peruanos.



En esta mesa se ha planteado una dicotomía entre agua y minería. Yo preferiría utilizar el concepto de multidimensionalidad, pues así nos apartamos de polarizaciones que dan la impresión de que se tratara de oro o agua, cuando la verdad es que es mucho lo que está involucrado. Aun cuando estamos hablando de algo tan concreto como la minería y el impacto del agua, debemos considerar que se entremezclan aspectos políticos, económicos, sociales, interculturales, ambientales, científicos, de información, presupuestales, entre otros.

Así, los problemas que se generan son multidimensionales y las soluciones también deben serlo; de igual modo, se puede identificar una u otra actividad, pero ninguna debe ser satanizada —y esta es la segunda parte de mi comentario— porque cuando se habla de un territorio se lo debe ver de manera integral, con la suma de actividades que en él se desarrollan.

Por lo tanto, mi primera gran reflexión es que todos somos parte de la solución, porque igualmente todos somos parte del problema. Lo siguiente es mirar nuestra interacción en el territorio. Justamente el doctor Barbosa se refirió a que en un territorio coexisten muchas actividades económicas y se puede hablar de un panorama o paisaje minero. Y lo que yo propongo es que en esta gestión de territorio todos podemos hacer algo, y un buen ejemplo de ese trabajo conjunto lo tenemos en Arequipa y la intervención lograda por la minera Cerro Verde, que muestra cómo agricultores, pobladores, mineros y desarrolladores energéticos pueden ponerse de acuerdo.

El agua es un bien escaso en el mundo; el agua dulce, por lo menos. Pero siempre recuerdo las palabras de un funcionario público mexicano, que trabajó muchos años en la gestión de agua, quien nos decía que no es que el agua fuera poca, sino que está mal manejada. Basta con mirar al norte de nuestro país, donde en pleno desierto cultivan arroz, con un impacto negativo en el suelo al salinizarlo. Al sur del país, se siguen regando cultivos por inundación, con el desperdicio de agua que esta técnica conlleva. En verdad, hay una necesidad de mejorar la gestión del recurso hídrico.

De esta forma, debemos fomentar una mirada territorial que permita que el capital natural que se menciona en la primera ponencia sea entendido dentro de esta gestión del territorio, como infraestructura natural que puede beneficiarnos a todos, complementada con una adecuada y eficiente infraestructura gris que dé una oportunidad de alcanzar un desarrollo territorial integrado. Incido mucho en este tema porque —esta información es para quienes nos siguen desde el resto del mundo— estamos en un año electoral y muchas veces es más fácil, políticamente, partidariamente, utilizar algunos temas para tratar de polarizar. La verdad es que, al ser este el Año del Bicentenario de nuestra independencia, sería una buena oportunidad para que comencemos a planear esta aproximación territorial que se ha planteado hoy. Debemos trabajar juntos, asumir multidimensionalmente estos problemas y dejar de polarizar. Si no hacemos esto, es probable que en cien años sigamos teniendo los mismos problemas.

La mirada estratégica de gestión territorial no debe enfocarse solo en el tema normativo que permite hacer evaluaciones de impacto ambiental —evaluaciones de impacto ambiental y social, como opinó la doctora Julia Torreblanca—, sino que debe empezarse a mirar el territorio mediante evaluaciones ambientales estratégicas. Si se analizan los proyectos individualmente, ocurre que cada uno tendrá su estudio de impacto ambiental y no se va a identificar el impacto acumulativo que estos generan.

El paisaje minero del que se nos habló, que a la larga es un paisaje humano, tiene muchos actores involucrados, muchos sectores productivos y económicos interviniendo, muchas autoridades y competencias aplicándose en un mismo espacio; por eso, debe verse desde una óptica multidimensional, más allá de proyectos individuales, con evaluaciones ambientales estratégicas. Si entendemos que los aspectos político, económico, social, ambiental, científico, cultural, presupuestal deben verse de modo integral, es probable que estemos llegando a una salida.

¿Oro o agua? ¿Es necesario escoger si podemos tener ambos? Queremos ambos, queremos desarrollo sostenible, pero no con paternalismos, sino con construcciones conjuntas, lo cual es absolutamente necesario.

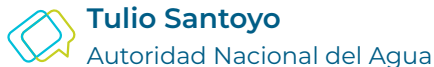
Estoy de acuerdo con las ideas sobre la responsabilidad multinivel y con el alineamiento de las políticas intersectoriales. No podemos ponernos de costado. Tanto los gobiernos locales como los regionales, de la mano del Gobierno nacional, tienen responsabilidades establecidas sobre las cuales actuar.



Y así como existe un compromiso multisectorial sobre este tema, la academia también puede ayudar. Recuerdo mucho la intervención del director de temas ambientales de Arca Continental para Latinoamérica, que dijo que cuando el tema ambiental no necesite una dirección general en un ministerio, o no requiera una oficina específica en una empresa, o incluso no tenga por qué existir un ministerio específico que impulse los temas ambientales, es porque hasta la última oficina general de cualquier ministerio o empresa privada ha involucrado el ADN ambiental en sus actividades. Así, la sostenibilidad se desarrolla en todos los ámbitos sin que nadie necesite un Pepe Grillo como el que tenía Pinocho, que le esté recordando cada vez que tiene que ser sostenible y que no debe contaminar.

Estamos necesitando levantar un poco la cabeza y mirar nuestro entorno. Creo que el científico no debe quedar aislado de su realidad. Sé que esto no se va a solucionar solo con la existencia de ingenieros ambientales, sino incorporando un enfoque ambiental en todas las carreras, sean estas de ingeniería u otras. Ya se está haciendo, pero se puede seguir mejorando. Se logrará cuando la academia tenga un rol preponderante en el tema, algo que se está desarrollando en algunos lugares, aunque necesita un impulso. Espacios académicos como este, del CONCYTEC, son una manera de hacerlo.

Se necesita que la academia dé el empuje que tiene que dar: investigación e información, pero sobre todo profesionales cada vez mejor capacitados y con apertura, que entiendan que nos desarrollamos en un mundo lleno de interconexiones. Cualquier carrera —Comunicaciones, Arte, Derecho o las ingenierías— debe tener una mirada de sociedad, una mirada que en el Perú tiene que tener un alto componente de interculturalidad, de diálogo. Definitivamente la academia tiene un rol fundamental para formar mejores profesionales.



¿Oro o agua? Sí es posible. Solo hace falta solucionar las complejidades territoriales. La minería genera recursos importantes para la economía y también para el desarrollo y la calidad de vida de la población. Por lo tanto, creo que hay un nivel de aceptación y de relación entre la actividad extractiva —ingeniería, innovación, tecnología, pasivos ambientales— y los medios de vida en un contexto territorial; es decir, el concepto de territorio y visión sistémica, para el desarrollo y fortalecimiento de los medios de vida de las personas que viven en ese territorio.

Creo que nos estamos quedando cortos en el país. Debemos tener una mirada de largo aliento, de gestión territorial. Nos estamos preocupando por lo que sucede ahora; actualmente actuamos como bomberos, solo reaccionamos ante algún suceso y no nos preocupamos por el futuro —prospectiva territorial—. Nosotros, como Autoridad Nacional del Agua, hemos realizado más de 300 monitoreos de la calidad superficial del agua en el 2019; se está entregando la información. Los resultados evidencian que los contaminantes son los vertimientos de aguas residuales. Así, falta cerrar una brecha en la acción efectiva. ¿Y a quiénes les compete el rol de remediación? Los responsables son los gobiernos locales, las empresas de saneamiento y el Ministerio de Vivienda; también nos estamos quedando cortos en relaciones intersectoriales. Y aquí también el mensaje, de cara al futuro, es tener esta misma prospectiva territorial entre las instituciones del Estado, donde haya un adecuado nivel de sincronización de competencia entre las poblaciones y la minería. Es decir, la política nacional debe estar coordinada con las políticas regionales y estas con las locales. No como ocurre ahora, que todo llega a la sede central: los asuntos de materia agraria van al Midagri; el tema ambiental, al OEFA los problemas en el embalse de Junín, al Ministerio del Ambiente; en vez de que los gobiernos regionales de Pasco y de Junín negocien, coordinen y busquen una solución.

En el país tenemos muchos elementos que no estamos capitalizando y no estamos generando consenso en los gobiernos locales y regionales en cuanto a lo que debemos hacer en un territorio; por ejemplo, en una cuenca

hidrográfica. Como ANA, sentimos que estamos contribuyendo, pero lo que estamos entregando no llega con impacto; por ejemplo, los estudios realizados que lograron la reducción de focos contaminantes.

Nos enfocamos también en la complejidad territorial que tenemos en el país: la distribución espacial de población. Si comparamos la vertiente del Atlántico, del Pacífico y del Titicaca, vemos que aquella con mayor población —la del Pacífico— tiene la menor disponibilidad de agua. Al respecto, hagamos un análisis: ¿Estamos siendo racionales? Pensemos si estamos optimizando o si estamos pensando en más proyectos, en vez de reflexionar sobre qué estamos haciendo con el agua y en lo que hacemos después de usarla; por ejemplo, a dónde la llevamos.

Reconocemos que tenemos que mejorar un nivel de sincronización entre políticas públicas nacionales, regionales y locales, e involucrar la acción efectiva de los gobiernos locales y regionales para llegar a consenso con las poblaciones. Es necesaria y conveniente esta sincronización con los gobiernos y las oficinas regionales.



COLOQUIO  
**CIENCIA Y  
SOCIEDAD**

**CALIDAD DEL AGUA:  
SALUD DE LOS ECOSISTEMAS  
Y SALUD HUMANA**

Mesa 4

## **La multidimensionalidad de la calidad del agua**

**Conferencista**

**María Luisa Torregrosa**

FLACSO sede México

**Panel**

**Fernando Roca**

Pontificia Universidad Católica del Perú

**Iván Lucich**

Superintendencia Nacional de Servicios de  
Saneamiento (Sunass)

**José Fábrega**

Universidad Tecnológica de Panamá

**Moderadora:**

**Myra E. Flores**

Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica  
(CONCYTEC)



## La multidimensionalidad de la calidad del agua<sup>1</sup>

**María Luisa Torregrosa**

FLACSO sede México

Partimos de una premisa central de nuestra posición: el agua es un patrimonio de la biósfera, todo ser vivo en el planeta requiere de ella y de ahí nuestra responsabilidad como humanidad respecto de esta. Como seres vivos, el agua es vital y de ella depende nuestro bienestar y nuestra salud. Nunca antes la realidad ha sido tan contundente para mostrárnoslo como en estos tiempos de pandemia, por ello la relación entre el agua y la salud humana es central, como lo es la relación sociedad-naturaleza. El agua es imprescindible no solo para la vida, sino para las buenas condiciones de salud y bienestar humano y planetario. Sin embargo, este hecho que parece tan evidente no tiene una resolución inmediata en la vida de los habitantes del planeta y cada día nos alejamos más de esta resolución, como lo muestra el hecho de que aún hoy el 26% de los habitantes del planeta no tienen acceso a agua potable en sus hogares y 50% no dispone de saneamiento seguro.

Si nos centramos en este último punto, podemos observar que el abordaje de los problemas relacionados con la calidad del agua en la región latinoamericana no es una tarea sencilla. A pesar de los múltiples esfuerzos realizados por los distintos gobiernos a partir de la década de los 70, el retraso de muchos de los países en expandir los servicios de agua y saneamiento en cantidad y calidad suficientes, particularmente en las comunidades periurbanas y rurales, aún se mantiene; sobre todo, en los países de América Latina, donde hay una gran heterogeneidad en las formas de acceso al agua. Todavía existe un amplio sector de población localizado en zonas marginales, periurbanas y rurales que accede al agua a través de camiones-tanques, garrafones de bajo costo, de fuentes cercanas no seguras, entre otros, todos ellos poco confiables respecto de la calidad del agua (Jiménez, 2009). Esto, sin mencionar los riesgos a los que está sujeta la población rural con el alto grado de contaminación de fuentes por problemas de eutrofización u otros

---

<sup>1</sup> Una primera versión de este trabajo está en Torregrosa et al. (2018).

tipos de contaminación que se incrementan por la ausencia de drenaje y las formas de disposición final de aguas grises y negras, y residuos tóxicos de grandes emprendimientos agrícolas, mineros, industriales, entre otros.

En los asentamientos urbanos, esta disposición final también es un problema que persiste en nuestros países, además de los que se derivan de la falta de inversiones para mantener y mejorar la infraestructura. En muchas ciudades, los sistemas de drenaje y de saneamiento son inexistentes, y muchas veces, cuando existen, no son operados correctamente o nunca logran ser puestos en operación.

Asimismo, persiste la ausencia o la limitación de los marcos regulatorios y su aplicación en cuanto a saneamiento se refiere, así como en la disposición final de aguas residuales de las ciudades, de las industrias —particularmente la extractiva— y de la agricultura, lo que ha repercutido en importantes consecuencias para la calidad del agua de las diversas fuentes de nuestros países y, por ende, en la salud de la población.

Otro obstáculo importante para mejorar la calidad del agua, en muchos de nuestros países, es el retraso o, en el peor de los casos, la ausencia de datos confiables sobre su calidad actual. Por ejemplo, con frecuencia, los datos de los servicios de saneamiento solo se refieren a las aguas negras dispuestas a través del alcantarillado, sin considerar su tratamiento, el de las aguas grises y su disposición final segura en los cuerpos receptores. Lo anterior tiene importantes consecuencias y una incidencia que se ve reflejada en la cantidad de fuentes contaminadas y en las altas tasas de enfermedades de origen hídrico en la población.

Estas deficiencias en la calidad del agua con que se abastece a la población, ya sea que esté conectada a redes o se obtenga por otros medios, ha llevado a que las personas recurran a la compra de agua embotellada, poco regulada y sin certidumbre de su calidad (Pacheco-Vega, 2017), o a adquirir sistemas caseros de potabilización de agua, lo que lleva a incrementar el costo de este recurso en 30% o 50% del precio oficial, costo que generalmente asumen los sectores menos favorecidos de la población o, en su defecto, pagan el costo en salud por no poder hacerlo.

Viendo estos resultados cabe preguntarnos: ¿por qué tenemos tanta dificultad en obtener una buena calidad de agua en nuestros países? ¿Qué requeriríamos para lograrlo? ¿Qué factores son los fundamentales para disminuir el déficit de agua y saneamiento? ¿Qué relación hay entre servicios de agua y saneamiento, y la disponibilidad de agua con las condiciones de salud y bienestar de la población?

Existen múltiples estrategias formales e informales de abasto de agua que han probado ser exitosas tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo que van desde la gestión pública estatal o municipal, participación público-privada, modelos cooperativos hasta la gestión comunitaria, entre otras (Torregrosa & Jiménez, 2009; Hukka & Katko, 2009; Muradian et. al., 2013). En el caso de la disposición final de aguas grises y negras y del saneamiento, los problemas que enfrentamos son todavía más complejos y muchas veces trascienden las posibilidades de ser resueltos a nivel comunitario. Existen experiencias importantes de trabajar el desalojo a nivel comunitario, pero muy pocas de enfrentar y resolver los problemas de saneamiento. Esto se ve reflejado finalmente en la calidad del agua y en la salud de la población.

De lo anterior podemos entonces pensar que, en buena parte, el problema de la calidad del agua radica en la multiplicidad de factores que lo determinan. Estamos acostumbrados a abordar los problemas relacionados con el agua de una manera fragmentada, desde las diferentes especialidades o ámbitos de experiencia. Pero la solución de los problemas relacionados con la calidad del agua es compleja y multidimensional. En este sentido, no son únicamente cuestiones económicas, tecnológicas o institucionales. Es importante profundizar en otros aspectos poco considerados que pueden estar incidiendo en la obtención de una mejor calidad del agua y, por ende, en las condiciones de salud de la población.

Por lo anterior, también resulta válida la pregunta: ¿por qué es tan difícil poner en interacción diferentes maneras exitosas de entender, ver y resolver los problemas relacionados con el agua y el saneamiento, y hacer que estas diferencias sean parte de una política pública?

A partir de mi trabajo en los últimos 39 años, orientado fundamentalmente a comprender la dimensión social de la problemática del agua, y más recientemente también en relación con la dimensión ambiental, propongo la necesidad de una reflexión con relación a los desafíos epistemológicos, teóricos, metodológicos y empíricos que enfrentamos desde la investigación, para entender y dar cuenta de procesos multidimensionales<sup>2</sup>; es decir,

---

2 Hablo de multidimensionalidad en el sentido de la diversidad de dimensiones presentes en problemas específicos, como la contaminación, escasez, gobierno, conservación, distribución del agua, que no pueden ser comprendidos en su integralidad por un solo tipo de conocimiento, sino que intervienen una multiplicidad de disciplinas y saberes para explicar un fenómeno en particular. Más adelante aclararé por qué no hablo de interdisciplinariedad.

problemas que obligadamente abren el diálogo con otras disciplinas y otras miradas, sin las cuales su explicación queda incompleta. Esta dificultad nos ha llevado, en el estudio de la dimensión social de los problemas del agua, a enfrentrar formas de entender y abordar la realidad con especialistas de otras disciplinas, como ingenieros hidráulicos, hidrólogos ambientales, biólogos, médicos, químicos, físicos, meteorólogos, entre otros, además de las pertenecientes a las ciencias sociales<sup>3</sup> —economistas, geógrafos, antropólogos, sociólogos, entre otros— y lo que hoy en día se denominan otros saberes —tradicionales y locales, por ejemplo—. Más allá de esta incapacidad de establecer el diálogo multidimensional, enfrentamos la urgencia que nos impone el deterioro hídrico y ambiental de construir conocimiento y explicaciones integrales para la resolución de estas crisis<sup>4</sup>, de cuya resolución, o no, dependerá el devenir de la humanidad<sup>5</sup>. En este sentido, se apunta hacia la necesidad de construir un objeto de estudio multidimensional que nos permita abordar la problemática hídrica, en particular, y ambiental, en general, en cada uno de sus componentes y en su conjunto, para contribuir a la resolución de estos problemas. Es evidente que en esta charla solo apuntaremos algunas reflexiones al respecto.

Recientemente leía un texto de Johan Rockström and Nicholas Stern, *Science, society and a sustainable future*, que me pareció muy pertinente

- 
- 3 Las ciencias sociales no entendidas como un bloque homogéneo, sino también en la diversidad de disciplinas que lo integran.
  - 4 Es importante destacar el carácter controvertido y complejo de la denominada crisis del agua. En un trabajo conjunto realizado para el Foro Mundial del Agua, señalábamos lo siguiente. “Por una parte, existen datos objetivos que otorgan un fundamento empírico para postular la existencia de una crisis del agua a nivel global. Ahora bien, las dimensiones y el alcance de dicha crisis así como el carácter de la distribución social y geográfica de su impacto son objeto de controversia y siguen abiertos al debate. La falta de datos estadísticos confiables en muchos países y regiones es una de las razones más importantes que obstaculizan el consenso sobre el alcance e, inclusive la misma existencia, de dicha crisis. Por otra parte, uno de los argumentos centrales que vertebran este trabajo es que la ‘crisis del agua’ no es el resultado de condiciones naturales, climáticas, o de procesos que se encuentren enteramente fuera de la esfera de control humano. Por lo contrario, muchas de las expresiones que asume dicha ‘crisis’, sea la falta de acceso a servicios esenciales de agua y saneamiento o la contaminación y degradación de fuentes de agua, son consecuencia de acciones humanas. En este sentido específico, puede decirse que la crisis del agua es en gran medida una construcción social” (Castro, et al., 2006). También puede consultarse Castree y Braun (1998); Burningham y Cooper (1999); Woodgate y Redclift (1998); Demeritt, D. (2002).
  - 5 La crisis del agua y del deterioro ambiental ha sido planteada y abordada no solo por gobiernos y autoridades, además de organismos internacionales, sino también es un problema del día a día de la población, situación que se exagera con el cambio climático.



para esta reflexión. Los autores sostienen que la evidencia apunta en una dirección donde la crisis del coronavirus es una manifestación de las vulnerabilidades sociales y ecológicas en el Antropoceno y brinda un amplio apoyo a la necesidad de moverse rápida y decisivamente para doblar las curvas globales de emisiones de gases de efecto invernadero, y frenar y detener el debilitamiento de los ecosistemas naturales de la Tierra rápidamente, en solo una generación (los próximos 20 a 30 años).

Sostienen que la humanidad es el futuro dominante, equitativo y resiliente tanto para las personas como para el planeta que tantos buscan. Las sociedades y las economías también deben cambiar, incluso en la forma en la que trabajamos, vivimos e interactuamos y las formas de gobierno que creamos.

Para ellos, esto requiere una transformación global en todos los sectores de la sociedad, desde la producción de alimentos hasta el suministro de energía, el transporte, la construcción y la producción de bienes incluyendo los de consumo; por supuesto incluye nuestras formas de acceder y preservar el agua. Estamos hablando de una transformación de todo el sistema que abarca tecnología, innovación, gobernanza, finanzas, modelos de negocio, equidad, valores y cambio de comportamiento. El llamado a la comunidad científica es sin duda “alto y claro” en todas las disciplinas académicas para trabajar en conjunto, para promover conocimientos y soluciones a través de la colaboración de investigación interdisciplinaria. Es de vital importancia una integración más estrecha de la investigación sobre economía política, finanzas y gobernanza con la ciencia del sistema terrestre y la investigación sobre el impacto climático. Reconocen que en estos tiempos de pandemia hemos aprendido más sobre nuestra humanidad común y nuestra fragilidad; sobre el manejo de los recursos; cómo se ve el mundo con menos contaminación. Hemos aprendido que la acción colectiva es posible y que movilizar capacidades humanas y financieras para abordar los grandes problemas es posible. Ha llegado el momento de demostrar que podemos afrontar la crisis climática y ecológica mundial. La nueva vía de desarrollo puede resultar enormemente atractiva; mantener el antiguo modelo de desarrollo sería profundamente peligroso. Este punto es central para mí: ¿cómo podemos contribuir a la construcción conjunta de una vía de desarrollo distinta y cómo se relaciona con la resolución científica de los problemas con enfoque interdisciplinario.

En la perspectiva que nos ocupa nos preguntamos: ¿cómo construimos un objeto de conocimiento multidimensional, interdisciplinario, con la parti-

cipación de diferentes disciplinas y tradiciones de conocimiento respecto de una mayor calidad del agua y sus consecuencias en la salud de la población? Como bien señala Rolando García (2006), tanto “la emergencia de las disciplinas como la integración disciplinaria es el resultado de un proceso histórico social y una característica del desarrollo científico que no resulta de la voluntad (y de los acuerdos) de un grupo de investigación” (García, 2006, p. 24); sin embargo, esto no elimina la posibilidad de abordar una problemática cuya comprensión implica la intervención de diferentes disciplinas. El enfoque de los sistemas complejos de Piaget y García nos dan la pauta para avanzar en esta reflexión.

Vale precisar que no nos interesan los estudios multidisciplinarios; es decir, integrar en un documento los resultados de diferentes estudios de especialistas con mirada disciplinaria respecto a una problemática común. Por otro lado, sabemos que plantearnos la investigación interdisciplinaria también excede nuestras posibilidades; sin embargo, como señalan Piaget y García, podemos proponernos ahondar en el cómo llegar a la delimitación de una problemática particular desde diferentes enfoques disciplinarios. García sostiene que esto es lo que podemos denominar investigación interdisciplinaria, pero que a la vez supone concebir cualquier problemática como un sistema cuyos elementos están interdefinidos y cuyo estudio requiere de la coordinación de enfoques disciplinarios que deben ser integrados en un enfoque común<sup>6</sup> (Piaget & García, 2006, p. 33). La delimitación de un sistema complejo no solo requiere de una concepción común entre los miembros del equipo de investigación sobre la problemática general a

---

6 Valga una importante aclaración, tanto Piaget como García hicieron significativos avances para la realización de investigación interdisciplinaria, formaron equipos que trabajaron a nivel internacional y contaron con las condiciones histórico-sociales idóneas para hacerlo, el lugar en donde se desarrollaba la investigación y se producía el conocimiento era muy distinto al actual, como por ejemplo el Programa de Investigación Global de la Atmósfera (GARP), establecido en Ginebra, Suiza, y localizado en el Instituto Internacional de Estudios Superiores (IFIAS). Hoy en día las universidades han perdido grados de autonomía muy grandes en el desarrollo investigativo y la investigación es contratada por grandes empresas transnacionales de todo tipo, si no es que la investigación se realiza en los centros de estas transnacionales orientados a descubrimientos y desarrollos científicos y tecnológicos que redunden en lucrativos rendimientos en el mercado. Por otro lado, el desmantelamiento de los centros académicos de su función investigativa cada vez es más grande y la formación de investigadores es casi una tarea imposible. Por esto mismo, no hablo de investigación interdisciplinaria porque en nuestras realidades es casi imposible que se den las condiciones, sociales, materiales, profesionales, institucionales y financieras para hacerla seriamente, por ello me limito a la propuesta de investigación multidimensional.

estudiar, sino también de una base conceptual común y de una concepción compartida de la investigación científica y de sus relaciones con la sociedad: el por qué y el para qué hacemos investigación. García (2006) señala que “de la conciencia de las condicionantes sociales que determinan la direccionalidad particular que está impresa en cualquier investigación depende el carácter realmente explicativo que alcance el modelo que resulte del análisis”; sostiene que “es igualmente necesario que los miembros de un equipo de investigación compartan un marco conceptual común, derivado de una concepción del mundo en particular” (2006, pp. 33-35).

Desde esta perspectiva, en el avance actual de la reflexión sobre la problemática del agua y el ambiente, supone compartir una concepción y los valores involucrados en la relación agua-sociedad y sociedad-naturaleza.

Volviendo a García (2006), este señala que la delimitación de un sistema complejo no solo requiere de una concepción común entre los miembros del equipo de investigación sobre la problemática general a estudiar, sino también de una base conceptual compartida de la investigación científica y de sus relaciones con la sociedad (2006, p. 33). En este sentido, pensar en el ciclo hidrosocial como un objeto de conocimiento común nos “plantea un campo que es definido entre lo hidrológico y lo social” y, por lo tanto, se presenta como un medio de producir *conocimiento crítico* sobre la naturaleza social del agua” (Maidment, 1993, citado en Linton, 2010, p. 231) nace de la reflexión e investigación de la geografía y de la ecología política que asumen, estemos o no de acuerdo, una concepción de la investigación y su necesaria articulación con saberes —tradicionales, locales— y un posicionamiento crítico de la sociedad capitalista. De esta manera, además de examinar cómo el agua fluye dentro del ambiente físico (atmósfera, superficie, subsuelo, biomasa), el ciclo hidrosocial también considera cómo el agua es manipulada, utilizada, concentrada y contaminada por los involucrados sociales, las luchas por el acceso y control del agua, y los mecanismos de exclusión y acceso expresados en las instituciones, a través de factores tales como obras hidráulicas, legislación, instituciones, prácticas, intereses y significados simbólicos” (Budds & Hinojosa, 2012).

En esta perspectiva, considero que el ciclo hidrosocial puede cumplir otra característica del estudio interdisciplinario de los sistemas complejos y es que trata de problemáticas globales donde los factores sociales juegan un rol fundamental (García, 2006, p. 34). En este sentido, no queda duda de que el centro de la reflexión del ciclo hidrosocial y los problemas que

abarca son de carácter global, ni de que los factores sociales que juegan en él tienen un rol fundamental. Como se señalaba previamente, la reflexión en torno a la crisis hídrica y ambiental global ha obligado a los especialistas en el tema a posicionarse con respecto a la relación agua-sociedad, particularmente de los factores que explican la crisis hídrica profundizada por los efectos, cada vez más evidentes, del cambio climático. En este sentido, además de la creciente evidencia de datos objetivos en el ámbito global que dan sustento empírico a la postulación de una “crisis” del agua está el sustrato investigativo cada vez más sólido de que la crisis del agua no es el resultado de condiciones naturales, climáticas o de procesos que se encuentren enteramente fuera de la esfera de control humano, sino por el contrario, muchas de las expresiones que asume dicha crisis, sea la falta de acceso a servicios esenciales de agua y saneamiento, o la contaminación y degradación de fuentes de agua, son consecuencia de acciones humanas. En este sentido específico, puede decirse que la crisis del agua es en gran medida una construcción social<sup>7</sup>.

Aquí volvemos a la propuesta de Johan Rockström y Nicholas Stern (2020) sobre la necesidad de replantear la vía de desarrollo vigente, y las consecuencias y riesgos que corremos de no hacerlo. La propuesta de García señala la necesidad de partir de un punto común respecto del mundo que queremos, los valores que compartimos y a dónde queremos llegar con la investigación, estos son los elementos que dan sustento de partida a un enfoque multidimensional, interdisciplinario, transdisciplinario, entre otros.

Enriquecer la construcción de una determinación investigativa multidimensional, interdisciplinaria, en torno a la problemática del agua y sus efectos en la salud, sumando acumulación a los pasos ya dados en este sentido, será una tarea necesaria para la construcción de potenciales programas de investigación que tengan como objetivo resolver la crisis planetaria que enfrentamos.

---

7 En realidad, no estamos diciendo nada nuevo, García en su proyecto *La sequía y el hombre*, publicado posteriormente en *Nature Pleads not Guilty* título del primero de los tres volúmenes en los que se publicaron los resultados de las investigaciones del programa IFIAS, provocó fuertes críticas y acusaciones de que los resultados estaban fuertemente teñidos de posiciones ideológicas ocasionadas por sostener una posición teórica abiertamente estructuralista y concluir que la catástrofe estaba cimentada en la estructura socioeconómica erigida durante décadas y que, por consiguiente, no se podía culpar a un único factor: la sequía (Piaget, J. citado en García, 2006, p. 16).

## Referencias

- Budds, J. (2012). La demanda, evaluación y asignación del agua en el contexto de escasez: un análisis del ciclo hidrosocial del valle del río La Ligua, Chile. *Revista Geografía Norte Grande*, (52), 167-184.
- Budds, J. & Hinojosa, L. (2012). Restructuring and rescaling water governance in mining contexts: the coproduction of waterscapes in Peru. *Water Alternatives*, 5(1), 119-137.
- Burningham, K. & Cooper, C. (1999). Being constructive: social constructionism and the environment. *Sociology*, 33(2), 297-316.
- Castree, N. & Braun, B. (Eds.) (1998). The construction of nature and the nature of construction: analytical and political tools for building survivable futures. En Castree, N. & Braun, B. *Remaking Reality: Nature at the Millennium* (pp. 1-42). Londres: Routledge.
- Castro, E., Torregrosa, M. L., Allen, A., Gómez R., Vera, J. & Kloster, K. (2006). *Desarrollo institucional y procesos políticos*. IV Foro Mundial del Agua.
- Demeritt, D. (2002). What is the Social Construction of Nature? *Progress in Human Geography*, 26(6), 767-790.
- García, R. (2006). *Sistemas complejos. Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Barcelona: Gedisa.
- Jiménez, B. (2009). Management of Water in Mexico City. En Mays, L. (ed.), *Integrated Urban Water Management in Arid and Semiarid Regions around the World*. París: Unesco.
- Hukka, J. J. & Katko, T. (2009). Complementary Paradigms of Water and Sanitation Services: Lessons from the Finnish Experience. *Water and Sanitation Services. Public Policy and Management*. Earthscan, UK.
- Linton, J. (2010). *What is Water? A history of a modern abstraction*. Vancouver: University of British Columbia Press.
- Muradian R., Nath, B., Jafar, A. & Domenech, L. (2009). The South Asian Experience: Financial Arrangements for Facilitating Local Participation in Water and Sanitation Services (WSS) Interventions in Poor Urban Areas. Lessons from Bangladesh and Nepal. *Water and Sanitation Services. Public Policy and Management*. Earthscan, UK.
- Rockström, J., Henry, C. & Stern, N. (2020). *Standing up for a Sustainable World*. Voices of Change.
- <https://www.elgaronline.com/view/edcoll/9781800371774/9781800371774.xml>

- Torregrosa, M. L. & Jiménez, B. (2009). Faxcing the Universal Access of Water and Sanitation in Mexico. *Water and Sanitation Services. Public Policy and Management*. Earthscan, UK.
- Torregrosa, M. L., Arellano, D. & Kloster, K. (2018). Agua y sociedad. La multidimensionalidad de la calidad del agua. En IANAS-Unesco, *Calidad del agua en las Américas. Riesgos y oportunidades*. IANAS-Unesco, México.
- Woodgate, G. & Redclift, M. (1998). From a Sociology of Nature to Environmental Sociology: Beyond Social Construction. *Environmental Values*, 7(1), 3-24.



**Fernando Roca**

Pontificia Universidad Católica del Perú

La quinta parte del agua dulce del planeta se produce en la Amazonía y discurre por la Amazonía. Para muchos, se trata de un mundo acuático, donde hay interacciones entre el bosque y el agua que están marcadas por varios fenómenos, como la evapotranspiración; es decir, el bosque se alimenta de agua y produce agua. Las nubes cargadas de agua que vienen del Atlántico impactan y descargan en la cordillera de los Andes; allí se presentan los conocidos bosques de neblina, que, a su vez, devuelven el agua a la cuenca de 7 millones de kilómetros cuadrados que tiene el río Amazonas, que, si se toma desde la naciente más lejana —que se ha identificado hace muchos años por la expedición a cargo del doctor Zaniel Novoa, de la PUCP, en la región Arequipa—, tendría más de 7000 kilómetros.

En ese aspecto, esta es una cuenca fascinante que se comunica también con la del Orinoco por el lado norte, en ciertas épocas del año. El famoso canal de Casiquiare vincula las dos cuencas y, hacia el extremo sur, la cuenca del Río de la Plata también tiene algunas partes en la zona sur de Brasil, a través de varias quebradas y riachuelos que hacen que esta se vincule; esta última conexión no es tan evidente como la primera.

El Amazonas parece ser que inicialmente, hace millones de años, corría en dirección contraria a la que conocemos ahora; para algunos científicos, la boca del Amazonas estaba en lo que es, actualmente, la boca de río Guayas en Guayaquil y eso explicaría por qué el Guayas tiene una desembocadura tan grande, aunque tenga un curso pequeño, alimentado por el Daule y el Babahoyo. En esta cordillera de los Andes —que es una cadena relativamente joven comparada con los 120 millones de años del Himalaya o de los Alpes—, la cuenca se va formando: se crean mares interiores a lo largo de estos millones de años; primero, el mar de Pebas en la zona norte, luego, el mar de Acre en la zona sur de la actual cuenca amazónica, y ahí se va configurando toda esta red, toda esta malla de ríos, humedales y lagos.

Así, el Amazonas va a buscar una salida y va a abrir lo que conocemos como el macizo Guayano-Brasileño, para desembocar en el Atlántico —este macizo, aparentemente, fue lo primero que emergió del fondo del mar del continente sudamericano—. Todo esto hace que, en 7 millones de kilómetros cuadrados,

tengamos muchos tipos de “Amazonías”: -tenemos bosques que crecen en los páramos, en los Andes, en partes de Colombia, de Ecuador, Perú y una pequeña parte en Venezuela. Son bosques, entre comillas, tropicales porque están en los trópicos, pero tienen una diferencia climática impresionante: a mediodía la temperatura puede llegar a los 20 o 25 grados, pero, cuando se pone el sol, se puede bajar a los 3 grados, con lluvias constantes.

Esos páramos son grandes esponjas, porque toman agua que luego baja hacia lo que sería la planicie amazónica. No toda la Amazonía es un bosque tupido, inundable y lleno de lluvia, también hay bosque seco-tropical, el bosque del cerrado brasileiro, el bosque seco tropical del Marañón en el Perú, las sabanas y llanos en Colombia, Venezuela, Bolivia y un pequeño pedazo en el Perú, etcétera.

Todo esto también produce que los ríos que desembocan en el Amazonas sean distintos. Están los ríos de color chocolate o leche, que son los que cargan muchísimos sedimentos andinos que los llevan hacia las partes bajas de la cuenca; hay ríos cristalinos o transparentes que nacen en el macizo Guayano-Brasileño, de laderas muy antiguas y lavadas, que bajan con pocos sedimentos; además, los ríos negros que son los que tienen su origen en las zonas de sabana y que están cargados de oxidantes producidos por la constante caída de hojas, son ríos muy oscuros y, para algunos, entre comillas, los más pobres de la Amazonía, aunque sin realmente serlo, porque todos los ríos de la Amazonía poseen una biodiversidad tremenda.

Ahora bien, todo esto supone que los Andes son fundamentales para toda la cuenca amazónica; de lo que pase en los Andes va a depender en el futuro —y depende ahora— de lo que suceda en la planicie amazónica. ¿Y cuál es la salud del agua en la Amazonía, hoy por hoy? Lamentablemente, en la cordillera de los Andes hay muchas operaciones, por ejemplo, de minería ilegal que está botando muchísimos metales pesados en las nacientes de los diferentes ríos que van a alimentar a los grandes afluentes del Amazonas: el Madeira, el Ucayali, el Marañón, el Napo, etc.

Así, tenemos el primer indicador: la carne de los peces amazónicos en muchas zonas está cargada de metales pesados y esto es un problema serio para la alimentación del habitante amazónico, si consideramos que el 70% de la ingesta de proteínas del habitante amazónico viene de los peces, aunque hay ciudades como Iquitos, en donde el aumento del consumo de la carne de pollo es considerable. El Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP) publicó un estudio que advierte que sería mejor



comprar los peces —si son grandes— criados en piscicultura, porque en su estado natural son los que concentran la mayor carga de metales pesados.

Por otro lado, tenemos la disminución de los regímenes hídricos. El Amazonas es el único gran río que corre casi paralelo al Ecuador y, además, tiene nacientes en el hemisferio sur y en el hemisferio norte —cuando no llueve en una zona, llueve en la otra— y eso explica el gran caudal que tiene todo el año. Pero, hoy por hoy, por el cambio climático, a veces no llueve en ningún hemisferio o llueve mucho en ambos. En los últimos 15 años, la Amazonía ha tenido las más grandes sequías y crecientes, lo cual es un indicador de esta inestabilidad climática del planeta que afecta la calidad del agua y, por supuesto, la calidad de vida del poblador amazónico.

Luego tenemos la deforestación, que es un problema muy serio en la Amazonía. Se deforesta por la madera; hay mafias de madera ilegal en el Perú que algunos las consideran tan violentas como las mafias del narcotráfico en otros sectores de la Amazonía. Existen, además, las plantaciones ilegales de coca. Pero también están los grandes monocultivos, que son muy dañinos porque desaparecen el bosque para hacer plantaciones extensivas e intensivas de ciertos tipos de productos agrícolas; esto es, realmente, muy complicado para un ecosistema tan frágil como el amazónico.

Están, por otro lado, los grandes proyectos. Imagínense que los grandes sedimentos de estos ríos cargados de lodo con nutrientes riquísimos —que son los que van a abonar las planicies amazónicas en el lado brasileiro, por ejemplo— sean cortados por grandes represas. Cómo hacer para evitar la colmatación de esas grandes represas, cómo hacer para no impedir la migración de los peces —hay peces en la Amazonía que recorren 4000 kilómetros para desovar en los Andes y que luego bajan otra vez a las planicies amazónicas—. Por ello, cuando pensamos en estos grandes proyectos, también hay que pensar en cómo remediar el impacto ambiental y si es posible hacerlo, porque, a veces, a pesar de nuestros conocimientos y nuestra tecnología, esa remediación no es viable por el momento.

Tenemos también las vías de comunicación, como las carreteras, las cuales son una ventaja, pero a su vez una desventaja cuando estas no solo sirven para vincular pueblos, sino también para deforestar. Veamos el caso de la carretera Iquitos-Nauta, de 100 kilómetros, que se demoró tanto en ser construida; es cierto que les ha mejorado la vida a los pobladores de Nauta —antes uno tenía que tomar el barco en Nauta al atardecer y amanecía en Iquitos y, hoy, se puede ir y volver el mismo día en un trayecto de dos horas—, pero la deforestación

a los lados de la carretera ha sido y sigue siendo enorme. Entonces, cuando abrimos estas vías que comunican pueblos, tenemos que buscar la manera de no destruir al ecosistema, a través de un manejo sostenible.

### **Figura 1**

*Poblado kukama, cerca de la carretera Nauta-Iquitos, a orillas del Amazonas*



Las hidrovías en la Amazonía son otro desafío; se dragan los ríos para que los barcos de mayor calado ingresen a sitios donde antes no podían, pero esto supone alterar el curso de los ríos y todos los fenómenos que se producen en ellos —reproducción de peces, de tortugas, etc.—. Hoy por hoy, el tema de las hidrovías y dragado de los ríos amazónicos en el Perú tiene grandes detractores, y no sin fundamento.

Ahora, quisiera citar algunos ejemplos de cómo los pueblos originarios, particularmente de la Amazonía, se relacionaban y se relacionan con el agua de maneras muy distintas, según cada pueblo, lo cual creo que es importante tomar en cuenta. Por ejemplo, en la frontera entre el Perú y el Ecuador, en la cuenca del Alto Marañón, está el grupo etnolingüístico jíbaro y, dentro de ellos, están los awajún. Para el mundo awajún, la relación con el río es muy particular, porque, en los tiempos míticos, hubo una guerra entre los seres del agua y los seres de la tierra firme, y siempre los seres del río eran los triunfadores, hasta que llega un personaje mítico importante llamado Etsa que les enseña a los hombres y a los seres de la superficie —porque en esta guerra intervienen hombres, aves, mamíferos, insectos— estrategias para

vencer a estos seres míticos, por tanto, para ellos, el río es un lugar donde hay que tener mucho cuidado y mucho respeto.

Si bajamos hacia el extremo sur de la Amazonía peruana, en Madre de Dios, frontera con Bolivia, tenemos otro pueblo originario que son los ese eja, que corresponden al grupo etnolingüístico pano-tacana, quienes están en su mayoría en Bolivia y una pequeña parte en el Perú. Para los ese eja, el agua es femenina y, para la doctora María Chavarría, especialista en el mundo ese eja, el agua es un elemento central en su cultura y es el lugar de lo femenino, de la subsistencia, de las relaciones eróticas, de la reproducción y es también el mundo de la muerte. Ellos se autodefinen según su lugar de origen, según las subcuencas del río Madre de Dios.

Para el grupo kukama, que es el único grupo tupí de la Amazonía peruana, ellos nacen del río; en los tiempos míticos, una anaconda seduce a un hombre que no era kukama y lo lleva al fondo del río para convertirlo en anaconda, ella queda preñada y sale a dar a luz en una orilla del río. Por lo tanto, para ellos el río es el lugar de la vida, del origen de todo: más aún, dicen que, en el fondo del río, hay otro mundo a donde van todos los seres que desaparecen en este mundo.

Entonces, podemos ver la complejidad de las relaciones con los cuerpos hídricos. En el mundo andino, en el mito fundacional del origen del imperio incaico, Manco Cápac y Mama Ocllo emergen de las aguas del lago Titicaca; además, en la tradición oral de los mitos de la sierra central de Huarochirí —el mundo andino no tiene un libro que narre su origen, como el Popol Vuh maya, pero sí hay una recopilación muy interesante de tradiciones orales hecha en época de la Colonia— el mar estaba vacío, no tenía vida. Había una diosa, Mamacona, que criaba, en las marismas y los humedales de la costa, todos los peces y los seres vivos que ahora pueblan el mar y, por una pugna que se da con el dios supremo Inti Wiracocha, este voltea todas esas especies en el mar, el cual se puebla de vida.

Vemos, así, algunas de las distintas connotaciones que pueden tener para los pueblos originarios en este continente estas relaciones tan particulares del ser humano con el agua. Entonces, vemos lo que está pasando —como lo han mencionado el doctor Fábrega y la doctora Torregrosa—, y estos pueblos ven lo que está pasando con sus recursos de agua, con los cuerpos hídricos, sea en Panamá, México, Perú o cualquier otro lugar de la Amazonía. Es importante, por tanto, preguntarnos qué estamos haciendo con este recurso.



**Iván Lucich Larrauri**

Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (Sunass)

Una de las cosas que quiero destacar, y que la doctora Torregrosa expresó, es que la crisis del agua es una “construcción social” que se agrava por la forma en que los impactos del cambio climático se aceleran, como consecuencia de la degradación antrópica de los ecosistemas que aportan el recurso hídrico para que los sistemas de abastecimiento de agua potable operen. Por ello, decimos que el problema de acceso al agua potable no es un problema de escasez de agua, sino que es un problema de cómo nos estamos organizamos y haciendo uso de la tecnología para acceder al agua.

Pero antes de pretender ejecutar “soluciones técnicas” para resolver problemas sociales, debemos lograr la voluntad política de los gobiernos para abordar la problemática del agua. En el Perú, nuestro presupuesto público para el año 2021 asciende a 183 000 millones de soles; de los cuales, solamente 5 millones de soles se destinan al agua y al saneamiento para todo nuestro país, tanto en el ámbito urbano como en el ámbito rural, siendo el rural el ámbito más golpeado. La cobertura de redes de agua en el ámbito rural es alrededor de 72%. No obstante, la calidad del servicio y la calidad del agua es muy mala, sobre todo en la Amazonía, donde la población está dispersa y los niveles de calidad de agua están directamente relacionados a la anemia y la desnutrición. Se sabe que es imposible que cualquier país mejore en términos de bienestar, si es que no se aborda el problema de la calidad de agua. Este es un primer aspecto. Hay muchos estudios que plantean que no habrá progreso social ni mejoras en la productividad de la economía, si no hay una mejora en educación, y no hay mejora en educación si no hay una mejora en nutrición, y la nutrición depende del acceso al agua de calidad.

Para empezar, todos asumimos que entendemos las relaciones descritas previamente, pero luego nos cuesta comprender la multidimensionalidad del agua, y entonces convergemos nuevamente a pensar y actuar en compartimientos estancos, generándose más problemas de política que problemas de mercado. Tan es así que a pesar de que lo sabemos, persistimos en construir infraestructura para abordar el problema de acceso al agua potable sin considerar la dinámica ambiental que orienta el recorrido

o el ciclo del agua, y sin considerar la dinámica social y económica que determina el asentamiento de la población y el de la industria sobre el territorio; es decir, sin encontrar esa correspondencia entre la tecnología y la organización social para su aprovechamiento. Muchas veces hacemos trasvases, represas, desalinizadoras, sin vislumbrar el movimiento de la población ni tampoco la ubicación de la industria, y menos aún sin acondicionar el territorio para regular los flujos hídricos, ni preguntamos acerca de la resiliencia de estas infraestructuras para afrontar los diversos tipos de riesgos asociados a las dinámicas señaladas.

A continuación, propondré tres aspectos para abordar la inconsistencia de las políticas asociadas a la problemática del agua.

Primero, debemos adoptar el análisis territorial para atender los problemas de acceso y aprovechamiento de los recursos hídricos. No podemos abordar el problema del agua si no entendemos cómo es que la población gestiona sus recursos naturales sobre un territorio concreto. Esto implica dejar de llevar los tubos allí donde la población busca asentarse, sobre todo cuando la población busca asentarse en función de la dinámica del mercado ilegal de tierras. Lo que debemos hacer es trabajar a la inversa, tenemos que inducir a que la población se asiente allí donde existen condiciones ambientales para que realmente se pueda aprovechar el territorio y sus recursos, de modo de lograr la sustentabilidad.

El segundo aspecto está asociado a la institucionalidad y a la gobernanza. Es necesario coordinar políticas vinculadas al agua entre los distintos sectores de actividad y niveles de gobierno; y para eso se necesita un enfoque de intervenciones multisectoriales que no permita la elaboración de planes multianuales de inversión como una sumatoria de proyectos desvinculados entre sí y desconectados de su territorio, y de los ecosistemas que forman parte de este. Se requiere repensar el sistema nacional de inversión pública yendo más allá del enfoque de cierre de brechas sectoriales. Al respecto, la descentralización demanda un acompañamiento en el diseño de la gestión de inversiones territorialmente vinculadas. De lo contrario, tendríamos obras e infraestructuras poco funcionales y no resilientes, tendientes a ser abandonadas y generando impactos ambientales y a la salud de las personas. Ejecutar una obra de saneamiento y no operarla adecuadamente implica dejar que el agua ingrese a la infraestructura y que salga, pero con un mayor nivel de carga contaminante, impactando directamente a la población.

Y el tercer aspecto es entender la conexión entre los ecosistemas y la evidencia empírica para el diseño e implementación de políticas públicas. No podemos dejar de lado a la academia para el diseño e implementación de las políticas; hay mucha complementariedad que se tiene que dar entre soluciones basadas en la naturaleza e infraestructura convencional. Aquí, en Lima, tenemos todo un dilema respecto de que si trasvasamos más agua del Mantaro o mejoramos la cobertura vegetal; el hecho de no mejorar la cobertura vegetal genera la pérdida de la mitad del agua que consumimos en un año, y esta agua se va al mar. Esto tiene que ver también con el debate de si las soluciones van a ser resilientes o van a ser soluciones que generen mayores costos vinculados a la gestión de riesgos o mayores costos que ahora ya se convertirán en deuda pública.

A su vez, en este debate no debemos olvidar la responsabilidad que tiene el Estado de garantizar la provisión de los servicios de saneamiento a toda la población en condiciones de calidad. Sin embargo, en el ámbito rural, donde el Estado ha delegado a las organizaciones comunales la provisión de los servicios de saneamiento, solo el 4 % de las viviendas acceden al agua clorada, y son en estos espacios en donde se ubican las fuentes de agua para las ciudades, existiendo una conexión natural, a través de las cuencas abastecedoras, entre la población que gestiona los ecosistemas proveedores de agua y los usuarios que, ubicados en las ciudades intermedias y grandes ciudades, la utilizan para consumo humano y para la actividad económica.

En el Perú, tenemos la Ley de Mecanismos de Retribución por Servicios Ecosistémicos, que permite que aquellos usuarios que se benefician del recurso hídrico retribuyan a quienes conservan los ecosistemas proveedores de agua, justamente, para que puedan contar con los recursos económicos para actividades de conservación o restauración de los ecosistemas; y, además, para que también puedan tener acceso al agua potable y al saneamiento. Lo que deberíamos discutir en los próximos meses es cuánto es lo que se debería transferir desde las ciudades, y desde los sectores económicos que generan valor con este recurso, hacia las comunidades, para garantizar acceso al agua potable y saneamiento digno.

Como organismo regulador, hemos generado cierta información para la toma de decisiones gubernamentales. Al respecto, consideramos que no es suficiente que los prestadores se encuentren formalizados y sean reconocidos por su municipalidad, o que cuenten con sistemas de abastecimiento

de agua para que mejore la calidad de la prestación y la cloración de sus sistemas de abastecimiento de agua, sino que es necesario que el Estado actúe multisectorialmente y acompañe a la comunidad en la gestión de sus sistemas. Así, el hecho de que la localidad cuente con centros de salud incrementa la probabilidad de que la comunidad clore el agua en 36%, el hecho que el prestador sea reconocido por la municipalidad contribuye a clorar el agua en 19%, y finalmente, la existencia de sistemas de cloración con acompañamiento gubernamental mejora en 25% la probabilidad de clorar el agua.

Finalmente, lo que nos están mostrando las cifras es que, si el Estado se preocupa de proveer de insumos y de acompañar la gestión de los sistemas de las organizaciones comunales en nuestro país, vamos a lograr indicadores positivos de cloración, reducción de anemia y mejoramiento de la nutrición.



Quisiera enfocarme en dos aspectos en esta presentación: la gestión integrada del recurso hídrico y las diferentes conexiones que tiene el agua; por ejemplo, el nexo entre agua y energía, y otros aspectos. Nos encontramos en un momento decisivo en el que la humanidad empieza a prestarle importancia al recurso hídrico —como se debió haber hecho antes— y también a la prosperidad general de la humanidad. Creo que los 17 objetivos de desarrollo sostenible que propuso las Naciones Unidas en 2015, que fueron ratificados y adoptados por muchos países, y que dejaron atrás los objetivos del milenio establecidos en el 2000, es uno de los esfuerzos más comprensivos que históricamente ha habido para enfocar la agenda de desarrollo de los países.

Son objetivos que brindan un enfoque con metas claras. Uno de los objetivos centrales, por su conexión con los demás, es el objetivo 6 de agua y saneamiento. Una de las 8 metas de este objetivo 6 es la implementación de la gestión integrada de recursos hídricos a todos los niveles; se trata de un paso que incluye la cooperación transfronteriza y que yo considero fundamental. La Asociación Mundial para el Agua (GWP, por sus siglas en inglés) define la gestión integrada del recurso hídrico como un proceso, el cual promueve un desarrollo coordinado del agua, el suelo y los recursos relacionados, con el orden de maximizar el bienestar económico y social de una manera equitativa y sin comprometer la sostenibilidad del ambiente de los ecosistemas vitales. Creo que esta definición es bastante comprensiva, en cuanto incluye esa multidisciplinariedad de la que estamos hablando y que trata de mantener el recurso sostenible en el tiempo.

Existen dos factores importantes que hacen compleja la gestión integrada del recurso hídrico. De un lado, los usuarios del agua son independientes, cada actividad es independiente, por lo que existen aplicaciones fragmentadas; un agricultor tiene una necesidad particular, diferente al que utiliza el agua para producir energía, otros la utilizan para el transporte, etcétera. De otro lado, los recursos hídricos son finitos, no es que una



actividad pueda crecer a espaldas de las necesidades de la población, a espaldas de las necesidades agrícolas o a espaldas de las necesidades de otras actividades económicas.

Por ende, para hacer una buena gestión integral de recursos hídricos, como lo han mencionado con anterioridad, se requiere de una buena gobernanza, de instituciones fuertes, de una política inclusiva y, principalmente, de esa comunicación que a veces nos hace falta, tanto entre los diferentes grupos que nos beneficiamos del recurso hídrico, especialmente a nivel de cuenca, el cual debe ser el elemento fundamental en la gestión del recurso hídrico. De esta forma, la cuenca debe verse como un elemento integrado, independientemente de la existencia de divisiones políticas dentro de la misma.

Otra aproximación interesante que se está llevando a cabo son las relaciones del agua con otras actividades, como en el caso de la relación de agua con energía. En Panamá, una gran parte de la producción de energía se da gracias a la generación hidroeléctrica. Además, existe una relación estrecha entre el agua y la energía, dado que los procesos de saneamiento, abastecimiento, bombeo, entre otros requieren de una gran cantidad de energía para su operación. Sin embargo, enfocar la utilización de recursos en una sola actividad como es la producción de energía, puede terminar con el descuido del abastecimiento para otras actividades dependientes del agua.

Otra relación importante se da con los alimentos, porque el agua es parte de toda la cadena agroalimentaria, pero la intensificación de la agroindustria también crea problemas de contaminación. Además, está la relación del agua con la salud, de forma directa o indirecta, con todas las bacterias, virus y por ende enfermedades, que puede tener un agua de mala calidad, así como los vectores que crecen en ella —como el mosquito— y todas las enfermedades que estos traen.

Está también la relación agua-sociedad, porque el agua no solamente es un indicador de la situación y del desarrollo humano de una región o país, sino que adicionalmente debemos considerar la visión cultural que tienen las comunidades, en sus diversos grados de desarrollo. A veces, los países muy desarrollados tienden a dar por sentado el acceso al agua, sin ver todo el esfuerzo ambiental que lleva a cabo la naturaleza para sostener el ciclo del agua.

De igual forma, está la importancia de los ecosistemas saludables, que son la base de una buena calidad de agua. Como comenté al inicio, se trata de que el agua se integre a diferentes políticas; a través de las conexiones producto de la multidimensionalidad del agua. Los objetivos del recurso hídrico, los de seguridad alimentaria y de la producción energética, todos, deben estar relacionados de alguna manera; debe haber conexiones que permitan que fluyan coherentemente. Así, también, tenemos la participación, a múltiples escalas, de conceptos que, al final, nos permitirán contar con recursos hídricos sostenibles, sin los conflictos sociales que, muchas veces, se producen en su utilización.



COLOQUIO  
**CIENCIA Y  
SOCIEDAD**

**CALIDAD DEL AGUA:  
SALUD DE LOS ECOSISTEMAS  
Y SALUD HUMANA**

Mesa 5

**Agua y salud, investigación y  
respuestas desde la ciencia**

**Conferencista**

**Ricardo Izurieta**

Universidad del Sur de la Florida

**Panel**

**Banu Örmeci**

Universidad de Carleton

**María Luisa Castro de Esparza**

Consultora

**Moderadora:**

**Verónica Rubín de Celis**

Universidad Ricardo Palma y Academia Nacional de Ciencias



## Enfermedades infecciosas emergentes transmitidas por agua

**Ricardo Izurieta**

Universidad del Sur de la Florida

Me referiré a las enfermedades infecciosas emergentes; específicamente, las transmitidas por agua. Mi criterio como infectólogo, epidemiólogo y salubrista es que la pandemia del SARS-CoV-2 es una batalla más que tenemos que enfrentar contra estos patógenos emergentes, por lo que debemos continuar vigilantes ante situaciones de emergencia de nuevos patógenos.

Esta conferencia va a ser un adelanto, una fracción de un libro que estoy escribiendo sobre seguridad global en el área de salud. Hay un tomo de este libro que va a tratar sobre enfermedades infecciosas emergentes transmitidas por vectores, por alimentos, por aire y también, por supuesto, transmitidas por agua; he seleccionado unos pequeños extractos de los capítulos de este libro que me gustaría compartir con ustedes.

En términos generales, en cuanto al desarrollo de los sistemas de agua —tanto para tomar como los sistemas de aguas servidas—, vemos cómo han evolucionado las plantas de tratamiento de agua; por ejemplo, desde finales del siglo XIX y principios del siglo XX hasta las modernas plantas de tratamiento que tenemos hoy, especialmente, en países desarrollados. Se observan impresionantes avances en ingeniería hidráulica y en la construcción de plantas de tratamiento.

Sin embargo, en el aspecto de detección de patógenos y de microorganismos en estas aguas, que podrían causar enfermedades, todavía continuamos utilizando la vieja técnica de Robert Koch, cuando ya se han desarrollado tecnologías como la inmunofluorescencia, la secuenciación y técnicas moleculares como PCR, que deberíamos introducir para el monitoreo de patógenos en agua.

La pregunta sería si estamos utilizando la vara de medición correcta para la seguridad microbiológica de aguas para tomar y de aguas servidas.

Nosotros elaboramos una lista que publicamos, precisamente, en la tremenda obra que desarrollamos con la red en Ecuador acerca de los patógenos, basándonos en estudios de campo. Se trata de toda una lista de virus, bacterias, protozoos, incluso metazoos, que, por supuesto, han emergido, incluyendo nuevos patógenos como las cianobacterias, las cuales pueden causar intoxicaciones. Solo me referiré a algunos de estos patógenos porque, lamentablemente, el tiempo no permite tratarlos a todos.

Respecto de los parásitos, uno de los patógenos que la medicina humana, la medicina veterinaria y la salud ambiental ven como emergente es el *Cryptosporidium* spp, el cual no detectábamos antiguamente porque no utilizábamos la técnica correcta para los coproparasitarios; estos necesitan una técnica especial que es la misma que utilizamos para el bacilo de tuberculosis, la *acid faster technique* (técnica de ácidos rápidos).

Los avances en biología molecular nos han permitido reorganizar muchos de estos patógenos —tanto en sus familias como en sus géneros— y, este patógeno ya está enmarcado dentro de otros protozoos como las microesporas y, dentro de estas microesporas, también tenemos las isosporas, como la *Isospora belli*, que es un patógeno descubierto en la Universidad Peruana Cayetano Heredia, donde hice mi diplomado en Medicina Tropical.

Así, tenemos toda una cantidad de *Cryptosporidium* spp con diferentes especies, y las especies están asociadas a reservorios animales específicos, como ratones, aves, cobayos, pavos, gatos, perros, incluso serpientes. Las especies que afectan a humanos fundamentalmente son *Cryptosporidium hominis* que antes se llamaba *Cryptosporidium parvum* “humano”; también puede estar infectado el ser humano por el *Cryptosporidium parvum* “bovino”, que infecta principalmente ganado vacuno, y hay otros *Cryptosporidium* spp cuyos reservorios están en pavos, gatos y perros que, eventualmente, podrían producir infecciones en humanos.

Entre las características de *Cryptosporidium* spp, tenemos que es altamente efectivo y resistente a la clorinación, por eso hemos tenido eventos epidémicos mundiales. Los grupos de riesgo son niños, pacientes de la tercera edad, pacientes inmunodeprimidos, y viajeros y visitantes de zonas endémicas. Además, debido a las diferencias en especies y subtipos, puede estar asociado con una inmunidad adaptativa. Se han reportado brotes epidémicos tanto en países templados como en países de los trópicos; por ejemplo, el brote epidémico clásico de Milwaukee, Estados Unidos.

En esos años, los ochenta, el sistema de vigilancia de los Centros de Control de Enfermedades (CDC) no pudo detectarlo. Más bien, ese gran brote epidémico fue advertido por los farmacéuticos, quienes se dieron cuenta de que la gente estaba acudiendo a pedir antidiarreicos hasta que se agotaron en toda la ciudad; de esa forma se detectó que algo estaba pasando. Luego el centro de control de enfermedades confirmó que era un brote epidémico de diarreas causadas por *Cryptosporidium* spp, asociado a una falla en la planta de tratamiento de agua de la ciudad.

Los patrones de transmisión, como hemos mencionado, son fundamentalmente zoonosis —dependiendo de la especie— que se pueden convertir en antropozoonosis —es decir, empezar una transmisión en humanos—. Los brotes relacionados con agua suceden en países desarrollados; pero en países en desarrollo no estamos reportando estos brotes epidémicos masivos por contaminación de plantas de agua. Creo que realmente deben existir, solo que, posiblemente, lo que esté pasando es que no los estamos detectando.

El ciclo viene a ser muy complejo y tenemos también ambientes acuáticos que participan en este ciclo de transmisión. Estamos trabajando, precisamente, con detección de bacterias y parásitos en población ecuatoriana; en esta área de detección de parásitos hemos desarrollado una cámara de microfluidos que permite una identificación con mayor sensibilidad de quistes de protozoos o de huevos de metazoos. Este es un invento que hemos desarrollado con la Universidad de McMaster, con el doctor Selvaganapati, que es ingeniero en microfluidos.

En cuanto a *Cryptosporidium* spp también encontramos —en uno de los estudios que hice con mis estudiantes de doctorado McKnight en Costa Rica— la presencia de este parásito en aguas ambientales de la cuenca del río Guanacaste. Un hallazgo interesante es que, definitivamente, la contaminación de la cuenca no estaba relacionada con la contaminación por excretas humanas, sino que estaba relacionada con la contaminación por excretas de fincas porcinas, donde se cría ganado porcino y vacuno, y que estaban descargando los biosólidos de animales directamente a los ríos.

Entonces, este es un aspecto en el que hay que poner mucho énfasis, porque la contaminación —especialmente de esta zoonosis— no precisamente puede estar causada por el material biológico humano, sino por el material biológico de animales, tanto domésticos como silvestres. Esta fue

una experiencia muy interesante, porque integramos la microbiología —es decir, el reconocimiento micro con biología molecular— con un panorama macro utilizando fotografías satélites para detectar estos focos de contaminación en la cuenca del río.

Voy a pasar ahora, brevemente, a otro parásito también protozoo que acá, en Florida, lo tenemos como un problema realmente endémico. Son las amebas de vida libre. Entre las que tenemos en Florida, está la *Naegleria fowleri*, que produce una encefalitis prácticamente mortal y que está asociada al agua, con sumergimientos dentro de piscinas, de lagos, cuerpos de agua dulce, que están contaminados con esta ameba de vida libre. Este patógeno ya fue identificado décadas atrás por el equipo de la Universidad Peruana Cayetano Heredia. Recuerdo el caso un niño de apenas 10 años, quien se había sumergido en el canal que divide, precisamente, la frontera entre Ecuador y el Perú, en el área de Tumbes. Este protozoo, esta ameba, penetra generalmente por fosas nasales e invade el cerebro y, realmente, es fatal.

Debo decir que cuando regresé en 2014 para hacer mi actualización en Medicina Tropical bajo la guía del doctor Eduardo Gotuzo, fue muy grato para mí saber que el equipo de Cayetano Heredia había desarrollado un protocolo de tratamiento que estaba logrando la supervivencia de 85% de estos pacientes; cuando yo hice mis estudios de residencia, teníamos una mortalidad de casi 100%. Esta universidad ha aportado tremendamente al manejo de esta enfermedad emergente, que se detecta más y más y, como lo mencionaba, no solamente en países en desarrollo, sino que es una enfermedad que es reportada con cierta frecuencia en áreas cálidas de Estados Unidos, como Florida.

En cuanto a las bacterias emergentes, debo mencionar que tenemos toda una lista de reportes que recolectamos en Ecuador. Voy a referirme solo a las más importantes. Una bacteria que no estamos reportando en países en desarrollo, pero que sí es comúnmente reportada en la zona norte, especialmente, en países desarrollados y algunos países del Medio Oriente es la tularemia, que fue descubierta en el condado de Tulare, California, en 1911, pero que no se le dio mucha importancia sino hasta 1980, cuando se la asoció con enfermedades humanas. Se trata de una zoonosis, por lo que tenemos fundamentalmente como reservorio animal a conejos y roedores. Lo que me preocupa de este tipo de enfermedades emergentes es que tienen la capacidad de transmitirse por diferentes mecanismos o modelos

de transmisión. Uno de estos modelos de transmisión es el agua; el medio acuático puede convertirse en un vehículo de transmisión. Pero también es una enfermedad o un patógeno que se transmite por medio de vectores, como las garrapatas e, incluso, por la misma carne de conejo o por contacto con conejos o roedores o, también por los venados y ganado ovino, que pueden constituir reservorios de esta bacteria. Pienso que el hecho de que no se reporten en países en desarrollo se debe a su detección es muy difícil.

Entre algunas de las epidemias en el mundo, podemos mencionar los brotes reportados en Turquía en las últimas décadas, y los cuales han estado asociados con agua. Las nuevas técnicas de biología molecular con PCR e, incluso, de secuenciación están permitiendo que podamos identificar este patógeno que posiblemente ha pasado inadvertido, no porque no esté presente, sino porque nuestras técnicas diagnósticas no permitían detectarlo. Además, podemos decir que la enfermedad de la tularemia ha avanzado en diferentes etapas y, en este momento, se encuentra en la etapa 6, según la escala de la Organización Mundial de la Salud (OMS), en la cual ya se considera de tipo pandémico, es decir que ha saltado de un continente a otro.

Esta enfermedad es muy común en la zona norte, incluso lo reportan México, Ecuador, Colombia y Venezuela; África, en su mayoría, no lo reporta. Me llama la atención que pareciera no haber diferencia entre lo que sería la zona templada del norte con la zona templada del sur. Entonces, sería importante explorar más para saber si, tal vez, hay transmisión o si está presente en reservorios animales propios de estas zonas, tanto de Sudamérica como de África.

*Salmonella* spp es otro patógeno del que nos estamos preocupando últimamente, debido al desarrollo de resistencia antimicrobiana. Como ustedes saben, los dos grupos fundamentales son las salmonelas tipo tifoide: la *Salmonella typhi* y las no typhi. Las typhi son realmente agresivas, especialmente, la fiebre tifoidea. La *Salmonella* spp no tifoideica no tiene tal agresividad —no perfora intestinos—, pero, en cambio, se está convirtiendo en patógenos que están siendo muy comúnmente transmitidos, fundamentalmente, de la carne de pollo a los seres humanos, ya sea por la llamada *contaminación cruzada* hacia vegetales o utensilios de cocina. Por eso, en el control de estos patógenos que están desarrollando resistencia antimicrobiana, es fundamental la educación en el manejo de normas de higiene y en el manejo de alimentos.



Es importantísimo tener en cuenta que se trata de un patógeno de transmisión por agua. En los reservorios —especialmente el no tifoideo—, está el ganado avícola y también otros animales, cuyas heces contienen ya estos patógenos resistentes a los antimicrobianos, hemos comprobado —tenemos estudios por publicar y uno publicado con el equipo de la Universidad de Osaka, en Japón, con el doctor Yamamoto— que hay presencia de *Salmonella* spp y *Escherichia coli* altamente resistentes en cuerpos acuáticos, porque esas heces de animales domésticos llegan a cuerpos de agua y pueden contaminarlos con estas cepas altamente resistentes a antimicrobianos.

Para la enfermedad de la fiebre tifoidea que, históricamente, se conoce como *Typhoid Mary*, los reservorios son fundamentalmente humanos. Mis colegas de Malasia tienen una historia muy interesante; ellos lograron el control con la detección de los portadores crónicos haciendo un estudio de prevalencia en cocineros de restaurantes, cafeterías y ambulantes. Apenas se detectaba un reservorio humano entre los cocineros, se les daba tratamiento para erradicar la salmonela tifoidea.

Como ya mencioné, existen varios tipos de animales que pueden albergar las salmonelas no tifoideas: serpientes, tortugas, iguanas, lagartos, ranas, también mamíferos y ganado avícola. El sobreuso de antibióticos en veterinaria ha hecho que muchos animales de granja sean portadores de estas salmonelas no tifoideas altamente resistentes a los antibióticos. Al ir estas heces de animales a los desagües, los cuerpos de agua pueden contaminarse.

De otro lado, nos está preocupando tremendamente que la resistencia a ciertos antibióticos no suceda solo para el caso de un antibiótico; por ejemplo, la transmisión horizontal de un antibiótico en el medio acuático o por medio de heces no solamente se está dando para un plásmido para resistencia —ampicilina, por ejemplo—, sino que se están transmitiendo en paquetes en lo que se llama el *casete*. Este paquete puede llevar de 5 a 7 plásmidos de resistencia a 5, 6, 7 antibióticos; es decir, que podemos tener la emergencia de nuevos patógenos multirresistentes. Esto es realmente preocupante. Asimismo, la posibilidad de que esta transmisión de los casetes con plásmidos de resistencia no solo se dé dentro de la misma familia o género de bacteria, sino que, por ejemplo, un *Escherichia coli* —teóricamente, pues no se ha comprobado— podría pasar todo este casete de plásmidos de resistencia a una *Salmonella typhi*, la cual ya sabemos que es muy agresiva; y si no se tiene una terapia adecuada que pueda frenar esta

bacteria, pues podría ser realmente un pequeño monstruo en potencia que podría causar muchísimo daño en la salud humana.

*Campylobacter* spp es otro agente que, igualmente, nos preocupa porque la resistencia de este agente está extendiéndose y también está relacionado con el consumo de agua, con carnes de ganado vacuno, porcino y avícola y de persona a persona. Es decir, estos patógenos están evolucionando de zoonosis a antropozoonosis e, incluso, a antroponosis.

Así, sobre los brotes reportados en el ámbito mundial tenemos *Escherichia coli*, de la cual ya hemos mencionado que se ha detectado presencia de varias de estas cepas altamente resistentes a antibióticos. Pues uno de los hallazgos sobre *Escherichia coli* es que, lamentablemente, el problema no se genera por la resistencia que resulta del uso irracional de antibióticos en medicina humana, sino por el uso irracional de antibióticos en la alimentación de animales —en el uso veterinario de antibióticos—, sea por un abuso como profilaxis o en tratamiento de infecciones veterinarias, o porque, incluso, al ganado porcino y avícola se le está administrando alimentos que contienen antibióticos como fórmula para estimular su crecimiento.

Como dato adicional, comunico que en los últimos estudios que estamos haciendo con *Escherichia coli* multirresistente se observa que, lamentablemente, se está poniendo colistina en las fórmulas alimentarias para ganado, un antibiótico antiguo muy potente para las bacterias que tienen beta lactamasa y, con ello, se puede estar desarrollando una epidemia por *Escherichia coli* resistente a colistina.

Otro asunto que nos está preocupando es *Helicobacter pylori*. Especialmente en el Ecuador, se tiene una alta tasa de cáncer de estómago y esta bacteria ha sido comprobada como factor que desencadena este tipo de cáncer. Japón ha hecho grandes avances en el control de esto, pero, lamentablemente, en nuestros países en desarrollo, todavía estamos en proceso de tratar de controlar.

En cuanto a la prevalencia de la infección por grupo etario en países desarrollados y en desarrollo, mi teoría es que algo pasó en los años sesenta, porque, por ejemplo, en países desarrollados de Occidente tenemos poblaciones sobre los 40 y 50 años con una alta prevalencia de esta bacteria en el estómago (62 %), mientras que las nuevas generaciones tienen un máximo de 20 %. Sobre esto, especulo que la causa del dramático decrecimiento en la prevalencia en países desarrollados se debió a la introducción de

las plantas de tratamiento de aguas servidas, porque se ha detectado la presencia de esta bacteria —asociada, como digo, al cáncer— en aguas servidas, y todos sabemos que, lamentablemente, en nuestros países en desarrollo, esas aguas servidas muchas veces van a irrigar plantaciones de vegetales u otro tipo de plantaciones de productos alimenticios. En el estudio que hicimos en el Ecuador para ver la prevalencia de *Helicobacter pylori*, detectamos prevalencia de entre 50 % y 75 % en las poblaciones ecuatorianas, porcentajes bastante altos.

Adicionalmente, hicimos estudios sobre leptospira con el modelo en el que estudiamos este patógeno con fotografías satélites y también a nivel molecular. Hace solo tres semanas lanzamos una publicación en la que reportamos que en cierta época estacional parece ser que *Leptospira* spp logra hacer su reservorio en los lodos y no en los cuerpos acuáticos; posiblemente, durante la época de lluvias, estas liberan las leptospiros hacia los cuerpos acuáticos de lagos o ríos.

Sobre el cólera también hemos trabajado. Escribí un pequeño libro llamado *Una muerte anunciada en los tiempos del cólera*, en el 2006, donde pronosticaba la vuelta de cólera a las Américas, como sucedió en 2010 en Haití. El cólera evidencia también el problema de técnicas diagnósticas ambientales. Nunca pudimos aislar el cólera de muestras de agua, aun sabiendo que la gente decía que se había enfermado al tomar esas aguas; si bien no podemos cultivar el *Vibrio cholerae*, sí podemos detectarlo con inmunofluorescencia. Esto nos enseña una lección: en cuanto a microbiología ambiental, introduzcamos técnicas más avanzadas de biología molecular para detectar estos patógenos.

Para terminar, tenemos una lista de virus. Entre los que están emergiendo últimamente, tenemos hepatitis A, hepatitis B. También venimos manejando por largo tiempo los rotavirus y los norovirus, que están también emergiendo. Afortunadamente, los poliovirus están bajo control y esperamos poder erradicar el último poliovirus 3 en los próximos uno o dos años.

Quisiera terminar esta exposición con un mensaje, a partir de una idea que no es mía, sino que es una propuesta del reconocido maestro, el doctor José Tundisi, quien propone utilizar aguas servidas como sistemas de monitoreo de patógenos emergentes. Esta es una propuesta totalmente innovadora y eficiente que podría cambiar radicalmente la vigilancia de estos patógenos emergentes en agua. Por ejemplo, en los estudios

epidemiológicos que hago para determinar prevalencias o existencias de bacterias altamente resistentes a antibióticos, se toman muestras de heces de poblaciones enteras; sin embargo, esto se podría hacer muy eficientemente tomando muestras de aguas servidas de una población, de un pueblo o una ciudad, con lo cual —mediante técnicas moleculares— no solamente podríamos detectar un patógeno, sino toda una gama de patógenos e, incluso, llegar a cuantificar la presencia de patógenos en estas aguas servidas. Esto me parece totalmente innovador y eficiente, porque puede ahorrarnos grandes recursos y permitirnos contar con un tremendo elemento de vigilancia de salud humana, por medio de los monitoreos de aguas servidas del mundo.



Me referiré a la contaminación microbiana y a la contaminación química en el agua. El estudio de los patógenos es importante para la protección de la salud pública, pero el de los contaminantes químicos también lo es; sin embargo, según mi modo de ver, los patógenos ocupan un primer lugar, porque sus efectos pueden ser muy rápidos y pueden causar la muerte de las personas en solo una semana. Por supuesto que también hay muchos costos producto de los contaminantes químicos, pero hay un largo periodo de tiempo hasta comenzar a ver las infecciones. De otro lado, hay casos en países pequeños, especialmente las poblaciones infantiles, en los que una simple diarrea o infección gastrointestinal pueden costar vidas.

No quisiera repetir lo que el doctor Izurieta ha tratado de una manera tan brillante. Me referiré a otros patógenos, como bacterias, virus, protozoos y sus organismos más altos. Lo que quisiera resaltar, desde el punto de vista del tratamiento de aguas, es el monitoreo y cómo lidiamos con la medición de estos organismos. Una de las limitaciones que puedo resaltar es el concepto de indicador bacteriano, el indicador de microorganismos. Todos consideran el *Escherichia coli* para evaluar la seguridad y la calidad del agua, y para evaluar también los niveles de tratamiento y el poder que este tiene. Es muy importante reconocer que el *E. coli* es el microorganismo más fácil de matar en los procesos de tratamiento y desinfección, pero el hecho de no poder medirlo no significa que el agua sea segura para beber.

Otra limitación relevante tiene que ver con los métodos de cultivo y con los métodos para proveer información viable, que son muy limitados. En el caso de los protozoos y bacterias —que son más difíciles de matar— se debe ser consciente de que, si una colonia no crece, no significa que la bacteria esté muerta, tal vez está estresada o herida, pero puede recuperarse con mucha facilidad y comenzar a crecer. Reitero que la medición de la seguridad del agua, en general, es imprescindible, pero también constituye una limitación de la que todos debemos ser conscientes.

El otro punto que quiero tratar está relacionado con la resistencia antimicrobiana. Se ha hablado sobre este tema, que es muy preocupante: el

uso de estos antibióticos y otros antimicrobianos presentes en las aguas servidas. Recordemos que las plantas de tratamiento de aguas servidas son un campo de cultivo muy alto de estas bacterias, donde se genera el ambiente ideal para que se desarrollen, por las temperaturas, las concentraciones de oxígeno. En realidad, proveemos las condiciones ideales para las bacterias y su comportamiento con todos los otros organismos que crecen en los procesos de tratamientos biológicos. Esto nos da la oportunidad de la transferencia horizontal de genes, lo que podría llevarnos a pensar que tal vez estamos creando el siguiente paquete superresistente en estas plantas de tratamiento, que luego podría ser descargada al ambiente y generar un problema mayor. Si hubiéramos hablado de esto el año pasado, habríamos pensado que no puede suceder, pero creo que el covid-19 nos ha enseñado la lección. Estas posibilidades remotas pueden convertirse en situaciones pandémicas, así que tenemos la obligación de aprender de ellas.

Otro tema que me gustaría tocar es que, hasta hace poco, nos enfocábamos en los patógenos y microorganismos del agua, pero apareció el covid-19, que no es un patógeno del agua y, claramente, tiene patrones muy diferentes de emergencia. Pero, ahora, hay muchos programas de vigilancia y monitoreo del covid-19 en muestras de agua potable y aguas servidas. De modo que el campo mismo está cambiando, pues en el agua hay otros tipos de patógenos. El conocimiento que podemos generar al monitorear estos patógenos es muy importante y puede ayudar a los funcionarios a cargo del cuidado de la salud pública.

En ese sentido, deseo mencionar que estoy trabajando en un proyecto que está monitoreando el covid-19 en aguas servidas. Inmediatamente después de la emergencia comenzamos a recolectar muestras de nuestros sistemas y llegamos a contar con 11 locaciones para las muestras por toda Ottawa (este, oeste, norte y sur), a través de diferentes zonas y áreas, con el objetivo de medir la concentración del virus en las aguas servidas, y hemos conseguido algunos avances al respecto.

Los pacientes de covid-19 comenzaron rápidamente a expulsar los restos del virus en las aguas servidas, incluso antes de que comenzaran a desarrollar los síntomas. Esto fue conveniente, porque ya no tenían que esperar a sentirse mal para hacerse una prueba y esperar algunos días por sus resultados. Se concluye que hay un tiempo importante entre el comienzo de las pruebas clínicas y el comienzo de las señales de la enfermedad.

A la fecha, tras varios meses, hemos recolectado muchas muestras. Lo que podemos ver es que, para la transmisión de la información pública —por ejemplo, el número de casos, el número de muertes, el número de nuevos casos reportados, etc.—, estas mediciones en las aguas servidas son muy útiles para recolectar información, pero, sobre todo, para predecir la transmisión. Tenemos aproximadamente 10 días para predecir la transmisión, por lo cual, este tipo de información es realmente importante para la salud pública; sobre todo, en países en desarrollo, donde tener suficientes pruebas de descarte llega a ser difícil, el simple monitoreo de las aguas servidas puede servir para ver en qué áreas, zonas o regiones del país hay más esparcimiento o prevalencia del virus.

Me gustaría brindarles un rápido repaso por las opciones que hay en tiempo real para saber sobre la contaminación del agua, sea para químicos o para contaminantes por microbios o patógenos. Esto es muy importante, porque para ser capaces de actuar y también generar conocimiento e información para estudiar los efectos de estos químicos y contaminantes, es algo esencial ser capaces de medirlos. En niveles tradicionales, toma bastante tiempo, por lo menos un día para un simple *E. coli*, y algunas otras pruebas toman varios días. Así, lo que necesitamos es medirlos todos en tiempo real o, por lo menos, en casi tiempo real, y así recolectar la información sobre presencia, ocurrencia y concentración de contaminantes. También debemos ser capaces de estudiar sus impactos, su remoción; desafortunadamente, no es fácil de hacer.

Si miramos las tecnologías actuales para resultados en tiempo real o en casi tiempo real —entre media hora y una hora—, nos damos cuenta de que, en realidad, son métodos muy simples —mediciones de pH, temperatura y otros— que tienen parámetros básicos. Ahora, existen algunas tecnologías que están siendo desarrolladas para ambos procesos —detección de químicos y de patógenos— y algunas de ellas son bastante prometedoras.

Cuando hablamos del monitoreo en tiempo real, hay algunos criterios para tomar en cuenta. Primero, si tenemos un contaminante, debemos dar con las propiedades que, de alguna manera, podamos usar para poder medirlos; por ejemplo, si se está buscando un contaminante químico y este contaminante absorbe la luz, se puede usar esta característica a favor. Para lograrlo, debemos ser capaces de desarrollar herramientas apropiadas de medición y, luego, reconocer cuáles pueden ser las dificultades al hacer estas mediciones en aguas residuales, en este caso. Pero más importante,

una vez llegado a este punto, es haber desarrollado herramientas apropiadas para transmitir esa información encontrada, a través de, por ejemplo, centrales de información y analistas de datos que generen esta información en tiempo real. Aunque lograr esto no resulta fácil, ya contamos con algunos interesantes proyectos en desarrollo en este campo.

Sobre los patógenos y los contaminantes microbianos emergentes, definitivamente también hay desarrollos prometedores que resultan quizá los más simples; un buen ejemplo es el test de embarazo, que es una simple prueba de presencia o ausencia de un componente. Así, nuevos métodos se están desarrollando, hay nuevos productos en el mercado que son bastante pequeños y fáciles de llevar al campo, no son aparatos inmensos, de manera que, definitivamente, tenemos varios desarrollos tecnológicos prometedores.

Acerca de los químicos, hay métodos electroquímicos y eléctricos que cada vez son más portables, también hay nuevos desarrollos prometedores. Como ejemplo, miremos el método para medir el coronavirus, que es bastante complejo y difícil, toma muchos días y es bastante caro. Sin embargo, ya existen algunas compañías y productos en el mercado que son muy fáciles de usar. Además, es muy interesante ver la cantidad de productos que se han desarrollado en un tiempo bastante corto, pues ya existen varias pruebas —no solo en Europa y Norteamérica, sino en varios otros países— que se están desarrollando.

En una estrategia de monitoreo de suministros de agua, lo importante es que sea acordada y decidida antes de que el mal ataque. Debemos tener claro, entonces, qué se va a monitorear; por ejemplo, si son muestras de agua potable donde, tal vez, hay fuentes de contaminación industrial. Asimismo, saber qué se va a monitorear. Lo mejor será empezar con algo simple, algo que sabemos que será fácil de lograr y cuya información será posible transmitir. Sobre los costos, un acercamiento razonable será el que proporcione más beneficios. La ventaja de comenzar con acciones simples es que a partir de los hallazgos se puede pasar a un segundo nivel y recién invertir en aquellas tecnologías que sean necesarias.





Quisiera compartir mi experiencia en un trabajo de investigación que se hizo algunos años atrás, pero que tiene actualidad, porque es conocido el hábito intensivo del reúso de las aguas residuales y en el mundo es cada vez mayor, por ejemplo, el 10% de la población consume alimentos regados con aguas residuales, y hay más de 20 millones de hectáreas en más de 50 países que son regadas con agua residual cruda o parcialmente tratada; también es sabido que se usan excretas y orinas, aunque esto no está cuantificado. Pero el uso de aguas residuales en agricultura, por sus consecuencias sanitarias, es un problema de importancia mundial. Otro aspecto es el uso de aguas grises en los países desarrollados y en desarrollo, y es más aceptable que el uso de aguas residuales en agricultura.

Por otro lado, tenemos mandatos globales, mandatos de las Naciones Unidas —organismo al que pertenecen prácticamente todos los países del mundo— como el cumplimiento de las metas de los objetivos de desarrollo sostenible, que en su acápite 6 señala que “hay que mejorar la calidad del agua reduciendo contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la misma emisión de productos químicos y materiales peligrosos”. Eso en cuanto a lo genérico, pero en la meta 6.3 recomienda el reciclado y el uso de aguas residuales sin riesgos. ¿Qué significa esto? Que no deben afectar a la salud. Además, los objetivos 12 y 13 dicen que es urgente reducir la liberación y desechos de productos químicos del agua, a fin de minimizar sus efectos adversos en la salud humana y en el medioambiente.

La práctica del uso de aguas residuales no es nueva en América Latina: se emplea desde hace mucho tiempo. México las viene usando en el valle de Mezquital, en el Distrito de Riego número 3 y después en muchas otras partes, desde hace algunas décadas. Aquí, en el Perú, también, y en Argentina, Bolivia, Brasil, en diferentes magnitudes de volumen; es algo que se practica en muchas áreas de cultivo cerca de las grandes ciudades.

Podemos preguntarnos por qué se da este uso de aguas residuales. La respuesta es porque en muchos países existe una crisis de agua, debido al incremento de la población. Ya en 1995, había países con escasez, con tensión hídri-

ca; al respecto existen proyecciones sobre que, en el año 2025, 48 países van a tener crisis por el agua y, en el 2050, 54 países van a estar en esta situación.

Por un lado, el agua residual tiene un valor como fertilizante: puede servir para abonar muchas hectáreas de tierra, permite un crecimiento más rápido y menos tiempo para la cosecha, incluso puede aumentar hasta a tres cosechas anuales y mejorar la producción por hectárea de trigo, arroz, papa y algodón, debido a que estas aguas residuales contienen nutrientes importantes: nitrógeno, fósforo y carbono orgánico en diferentes concentraciones.

Además, se sabe que el agua residual doméstica es 99% agua; o sea, sumamente necesaria para el desarrollo de la agricultura en nuestros países. Por lo general, en una ciudad se generan entre 35 y 200 litros por persona por día de agua residual y, en una ciudad semiárida de un millón de personas, se produce suficiente agua residual para regar entre 1500 y 3000 hectáreas.

Pero también, por otro lado, estas aguas residuales generan preocupación, la cual está relacionada con la salud de los campesinos que usan el agua para los cultivos, sus familias y los consumidores de los productos agrarios de consumo humano directo.

Hay efectos directos en la salud, como brotes de enfermedades, sobre todo si son aguas residuales crudas, aquellas que pueden acarrear todo tipo de microorganismos, como bacterias, virus o parásitos. También hay efectos indirectos en la salud, con repercusión en la inocuidad del agua potable, alimentos y aguas recreativas. Debemos considerar que quienes emplean las aguas residuales directamente en el riego agrícola pueden infectarse por parásitos—nematodos; por ejemplo, de *Áscaris*, que se ha presentado en zonas en México, Perú, Chile y otros lugares. También, bacterias y virus, como cólera, tifoidea. En muchos casos los campesinos han dado respuestas seropositivas para *Helicobacter pylori*, y en los pobladores expuestos al agua y productos de mala calidad sanitaria un gran aumento de diarreas no específicas.

Además de los campesinos, hay preocupación por sus familias, las personas que viven en el campo y también por los consumidores. Realmente, cuando se va a hacer un uso de aguas residuales —las cuales siempre deben ser tratadas— debe estudiarse el uso del suelo, qué actividades agropecuarias se van a desarrollar, qué uso se le va a dar a las aguas residuales tratadas, y también cuál es la situación epidemiológica del lugar. Este es un punto importantísimo, porque así vamos a saber de qué tipo de aguas

residuales domésticas estamos hablando, con el fin de saber cómo tratarlas y reusarlas, con todos los beneficios del caso.

Me referiré al proyecto que se hizo hace algunos años acá, en el Perú, sobre el reúso de aguas residuales en agricultura, que buscaba evaluar la contaminación microbiológica y toxicológica de los productos agrícolas irrigados con aguas residuales de diferentes niveles de contaminación. Un primer nivel eran las aguas con muy baja contaminación —del río Cieneguilla—, luego había un área irrigada con aguas tratadas de la laguna de San Juan, otra área con una mezcla de desagües domésticos e industriales en la zona del Callao, y otra agua residual predominantemente doméstica en el área del Naranjal. Es decir, tuvimos cuatro muestras de tipos de calidad de agua para analizar la calidad microbiológica.

El estudio fue realizado por un equipo multidisciplinario —químicos, biólogos (parasitólogos y microbiólogos de aguas y alimentos), ingenieros sanitarios, médicos, químicos farmacéuticos, antropólogos y muchos otros profesionales de alto nivel— que buscaban saber cuál era la situación de salud en los cuatro sitios. Se estudiaron aspectos microbiológicos y toxicológicos de verduras que crecían bajo tierra, a flor de tierra y de tallo alto.

Se encontró una relación entre la presencia de salmonela con coliforme fecal, lo cual puede usarse como indicador de la contaminación. Hubo resultados sobre la calidad de verduras en los campos agrícolas —papa, zanahoria, hortalizas, frutas— por el tipo de crecimiento. Así, obviamente, las que estaban bajo tierra tenían mayor cantidad de estándar aplicado, pero también de coliformes totales. Se midieron más de 5000 muestras de vegetales y 3000 o más muestras de aguas residuales crudas y tratadas, y se pudo desarrollar un modelo de pronóstico probabilístico de la calidad de las verduras versus la calidad del agua; es decir, qué porcentaje de riesgo existe de que las verduras estén contaminadas, dependiendo de la calidad del agua, con el uso de coliforme fecal como indicador.

Se pudo saber que la calidad sanitaria de las verduras no solamente dependía del agua, solo alrededor del 50 %. Por ello, al momento de planificar el reúso no solo se tiene que tener en cuenta la calidad del agua. Se estableció, así, un nivel potencial de contaminación que, con el tiempo, se podía reducir, entre el último riego y la cosecha, a través de medidas higiénicas. También se estudiaron productos del mercado, con la intención de saber su calidad sanitaria, con los indicadores que se habían seleccionado alineados con el Codex Alimentario.

Se encontró que la presencia de riesgo por parásitos en productos de los mercados de Lima era altísima, además de la presencia de bacterias salmonela y *E. Coli*, algo similar se encontró en los productos regados con aguas residuales crudas. En San Juan, se encontró que los productos irrigados con estas aguas tenían mucho menos cantidad de parásitos, pero se halló salmonela y *E. coli*, y la posibilidad de reducir contaminación con medidas higiénicas y manejando los tiempos de riego. Finalmente, en los productos agrícolas irrigados en aguas del río de Cieneguilla no había parásitos, pero sí presencia de estas dos bacterias en menor cantidad.

En cuanto a la presencia de enfermedades, descubrimos que en Cieneguilla había mayor fiebre tifoidea, aun cuando usaban un agua de riego más limpia, lo que se vio es que en este lugar no tenían agua potable y usaban el agua del río para beber. En San Juan, donde el agua de riego era tratada (mínimo nivel de parásitos), los productos agrícolas tenían niveles altos de parásitos, porque no había alcantarillado, y por tanto la defecación era al aire libre en los terrenos de cultivo. En el Callao, a pesar de la calidad sanitaria de los productos, había baja presencia de enfermedades debido a que había agua potable y mejores medidas higiénicas.

Con todo esto, quería explicar que cuando uno tiene un programa de reúso de aguas residuales —que siempre deben ser tratadas— no solamente se contemplar su tratamiento, sino dónde se va a aplicar el riego, si hay agua potable, si tienen dónde disponer las excretas, si tienen medidas educativas para higienizar los alimentos y para manejar la siembra. Es muy importante el tiempo entre el último riego y la cosecha, porque allí hay una disminución significativa de bacterias.

Como se ha mencionado, se necesita vigilancia, control y monitoreo. Pero es necesario implementar estos programas de acuerdo con las políticas existentes sobre el uso de aguas residuales tratadas. Les toca a las universidades desarrollar más estudios de investigación para determinar el uso apropiado. Para el monitoreo, necesitamos encontrar indicadores que nos sirvan para ver las tendencias, y el riesgo real o potencial que existe.

## Conclusiones

- El uso agrícola de aguas residuales sin tratamiento implica un riesgo de exposición para los agricultores y la población que consume los productos del reúso de aguas.

- El uso agrícola de aguas residuales y lodos de origen industrial implica un riesgo potencial de exposición de la población a tóxicos, debido a la posibilidad de incorporación o adsorción de estos a los productos agropecuarios de consumo humano.
- El vertimiento de efluentes industriales sin tratamiento adecuado en la red de alcantarillado municipal altera la calidad de las aguas residuales domésticas, lo que dificulta su tratamiento y su posterior uso en agricultura.
- Los vegetales que crecen bajo la superficie del suelo o en ella tienen mayor riesgo de contaminación microbiológica que los de tallo alto.

### Recomendaciones

- Se necesitan estudios epidemiológicos.
- Se requieren programas de monitoreo de los procesos de tratamiento de las aguas residuales, de los productos agropecuarios y del entorno ambiental.
- Urge modernizar el marco legal del reúso de aguas.
- Debe promoverse el desarrollo y ajuste de herramientas de gestión apropiadas.
- Son necesarios el desarrollo e implementación de planes de gestión del reúso de las aguas.
- Sería conveniente que se incluyeran algunos de los cuadros con los resultados del estudio.



COLOQUIO  
**CIENCIA Y  
SOCIEDAD**

**CALIDAD DEL AGUA:  
SALUD DE LOS ECOSISTEMAS  
Y SALUD HUMANA**

Mesa 6

**Agua, salud, innovaciones y  
políticas públicas**

**Conferencista**

**Henry Vaux**

Universidad de California

**Panel**

**Kala Vairavamoorthy**

Asociación Internacional del Agua

**Juan Rodríguez**

Universidad Nacional de Ingeniería

**Benoit Diringer**

IncaBiotec

**Moderadora:**

**Nicole Bernex**

Academia Nacional de Ciencias



## Principios de las políticas para la calidad del agua

**Henry Vaux**

Universidad de California

Se me ha pedido que debata sobre la formulación y las implicancias de las políticas públicas para la gestión y el control de la contaminación del agua. Permítanme comenzar con una distinción importante. Las políticas siempre implican una mezcla de ciencia y valores o, alternativamente, hechos y valores. Y el propósito del proceso político es negociar valores y juicios de valor en la formulación de políticas, decidiendo qué valores se enfatizarán y cuáles no.

En el tiempo de que dispongo, quiero centrarme en el aspecto fáctico o científico de la elaboración de políticas de gestión de la calidad del agua. Quiero sugerirles que hay algunas lecciones claras de la ciencia que han sido ampliamente ignoradas en la elaboración de políticas públicas modernas para proteger y mejorar la calidad del agua. En el resto de mi presentación me centraré en dos cuestiones generales. Primero, ¿qué nos dice la ciencia sobre las metas y objetivos de nuestras políticas de gestión de la calidad del agua? Y segundo, ¿qué nos dice la ciencia sobre el desafío de las políticas y los instrumentos disponibles para lograr los objetivos de calidad del agua?

### Recetas científicas para la gestión de la calidad del agua

La primera de estas prescripciones o principios científicos se centra en la cuestión de cuánta contaminación debe controlarse o limpiarse. El principio es una aplicación sencilla de la economía y sostiene que rara vez será eficaz reducir toda la contaminación y gestionar las aguas de modo que estén limpias y siempre libres de contaminantes. Dicho de otra manera, en la mayoría de los casos es económicamente óptimo que parte de la contaminación permanezca después de los esfuerzos por controlarla o reducirla. Es importante reconocer en la elaboración de los planes de

gestión de la calidad del agua que, en un mundo óptimo, por lo general debe permanecer algo de contaminación. La lógica de esta propuesta se ilustra a continuación:

$$\mathbf{MCC = MBC}$$

Donde

MCC = Costos marginales de control (Marginal Costs of Control)

MBC = Beneficios marginales de control (Marginal Benefits of Control)

Lo anterior muestra que a medida que aumenta la contaminación que se limpia o que se previene, aumentan los costos marginales de la siguiente unidad. Al mismo tiempo, los beneficios marginales del control o la mitigación disminuyen a medida que se reduce la contaminación. En el punto óptimo, los costos marginales del control y los beneficios marginales de la reducción son iguales.

En el curso de los eventos, tendrá sentido no reducir toda la contaminación, sino solo esa cantidad donde el costo marginal de la reducción es igual a los beneficios marginales de la reducción. Ahora bien, hay algunas excepciones a esta prescripción. Se trata de casos en los que una política ilustrada exigirá reducir toda la contaminación. Un ejemplo es el caso en el que el contaminante en cuestión persiste indefinidamente o es tan tóxico que causará enormes daños en términos de salud humana y pérdida de vidas. Otro es cuando las consecuencias adversas de la contaminación en cuestión son, en gran parte, inciertas y desconocidas. Un tercer ejemplo es cuando los costos de limpiar una contaminación son extremadamente altos.

Una segunda prescripción de política científica importante sigue la Ley de Conservación de Energía y Materia, y se llama el Principio de Balance de Materiales. Sostiene simplemente que la energía y la materia siempre se conservan. Por lo tanto, el peso de los residuos o descargas de la producción y el consumo están ahí. Son dos principios importantes que siguen y que brindan orientación científica en la formulación y ejecución



de políticas de control de la conservación del agua, aproximadamente igual al peso de los recursos y materiales utilizados en la producción.

**Corolario 1:** Solo hay dos formas de reducir el peso (cantidad) descargado al medioambiente. Una es reducir el peso de los recursos y materiales que se someten a las transformaciones productivas y de consumo. A esto se le llama rendimiento. Así que una estrategia es reducir el rendimiento. La otra es capturar los residuos de las transformaciones productivas y de consumo, y reciclarlos de nuevo a través del sistema. De eso se trata el reciclaje. Por lo tanto, los objetivos de política apropiados serían dos:

- 1) Reducir el rendimiento de forma absoluta o como consecuencia de adoptar alguna tecnología que le permita obtener aproximadamente la misma cantidad de producción con residuos reducidos.
- 2) Implementar acciones que fomenten o exijan reciclaje.

**Corolario 2:** Los sumideros de residuos, la tierra, el aire y el agua, están interrelacionados y no son independientes entre sí. Es decir, cuando se limpia el agua, los desechos deben depositarse en el aire o en la tierra. Simplemente no es factible controlar la calidad de los tres sumideros de manera muy estricta mediante el simple recurso de promulgar estándares. Los desechos tienen que ir a alguna parte: la materia se conserva. También es importante reconocer que diferentes sumideros tienen diferentes capacidades para diluir o transformar diferentes tipos de desechos. Estas capacidades varían de un lugar a otro.

Con frecuencia, las estrategias de gestión de desechos equivalen a poco más que simplemente trasladar los desechos, porque el principio del equilibrio de materiales se ha ignorado al formular estrategias de control de la contaminación. De hecho, el principio ha sido ampliamente ignorado. En los Estados Unidos, por ejemplo, existe una legislación nacional separada para cada uno de los sumideros de residuos. En estos casos, las regulaciones de contaminación de la tierra y el agua no implican más que mover los desechos de un sumidero a otro. Se ha prestado poca atención a los planes integrados en los que las interrelaciones entre los sumideros son importantes y al hecho de que los diferentes sumideros tienen diferentes capacidades para procesar y diluir diferentes tipos de desechos.

Estas dos prescripciones proporcionan una guía útil para diseñar estrategias de gestión de la calidad del agua efectivas y eficientes. La primera receta debe aplicarse al formular todas las políticas de control de la conta-

minación y prácticamente en todas las escalas. El segundo debe aplicarse a escalas más grandes, con frecuencia escalas de todo el país, para asegurar que la verdadera respuesta a la contaminación no sea simplemente mover los desechos.

### Desafíos de política

La formulación de políticas para la gestión de la calidad del agua requiere el reconocimiento de varios factores críticos que impactan en la calidad del agua.

### La necesidad de una acción colectiva

La mayoría de las aguas superficiales y subterráneas están sujetas al uso de más de una persona. Es muy difícil otorgar derechos de propiedad a recursos fugaces porque no se pueden precisar por ubicación. Esto significa que el uso, sea para el corpus de los recursos o para sus capacidades de asimilación de residuos, tiende a estar sujeto a la ley de captura. Cuando se explota de manera individualista y competitiva, el resultado tiende a ser el agotamiento prematuro del recurso, ya se trate de aguas subterráneas o de la capacidad de asimilación de desechos de las aguas superficiales. Siguiendo con la calidad del agua superficial, las descargas de desechos de una persona impactan adversamente al usuario aguas abajo y otras buscan la preservación de la calidad del agua.

En teoría, los conflictos resultantes pueden resolverse mediante negociaciones voluntarias. Eso, rara vez, ocurre en la vida real. El resultado es que es necesario realizar algún arreglo institucional colectivo para proteger la calidad del agua en su estado prístino (que es raro) o en algún nivel de calidad con el que la comunidad pueda vivir. Los arreglos resultantes deben ser ejecutables. Sin estos arreglos, hay pocas posibilidades de proteger la calidad del agua.

**Monitoreo.** El monitoreo es esencial para gestionar la calidad del agua. Sin un monitoreo preciso, no es posible saber con precisión si hay un problema de calidad del agua. Y sin un monitoreo preciso no es posible saber cuándo los esfuerzos para proteger o mejorar la calidad del agua están cumpliendo los objetivos requeridos. El control de la calidad del agua es inadecuado en todo el hemisferio occidental, incluidos Canadá y los Estados Unidos.

El control de la calidad del agua no es políticamente interesante ni popular, y la necesidad de hacerlo tampoco es muy apreciada por el público.

### **Fuentes puntuales y no puntuales**

Las fuentes más conocidas de contaminación del agua son las puntuales. Los contaminantes ingresan a un curso de agua desde el final de alguna tubería o en la entrada de algún afluente. Las fuentes puntuales son relativamente sencillas de regular. Por el contrario, las fuentes no puntuales son difusas y es imposible identificar con precisión de dónde provienen. Los ejemplos incluyen flujos residuales de fertilizantes y pesticidas de la agricultura, flujos de tormentas de áreas urbanas que a menudo han sido modificadas por pavimentación, sedimentos arrastrados por la escorrentía de tierras erosionadas y aguas que fluyen de sitios mineros abandonados. Los contaminantes de fuentes no puntuales son difíciles de regular; por lo general, no hay un solo punto donde la regulación pueda ser eficaz. Casi siempre, la regulación de las fuentes no puntuales requerirá herramientas y estrategias diferentes a las que se utilizan para regular las fuentes puntuales.

### **Gestión de la calidad de las aguas subterráneas**

La prevención de la contaminación de las aguas subterráneas y el mantenimiento de una buena calidad de estas, a lo largo del tiempo, presenta problemas especiales. Las investigaciones disponibles dejan en claro que casi siempre es más barato prevenir la contaminación de las aguas subterráneas, antes que limpiar la contaminación una vez que ha ocurrido. Por lo tanto, existe un fuerte incentivo económico para mantener una buena calidad de las aguas subterráneas. Los problemas surgen porque la mayoría, no todos, de los contaminantes de las aguas subterráneas provienen de fuentes dispersas.

### **Herramientas de política para gestionar y proteger la calidad del agua**

La forma más común de promover la protección y el mejoramiento de la calidad del agua es mediante el establecimiento de normas. Esto generalmente se hace de manera legislativa y casi siempre debe hacerse a nivel nacional. Cuando la responsabilidad de administrar y mantener la calidad del agua se deja a los estados, provincias o áreas locales, existe una fuerte

tendencia a competir entre sí en aras de promover el crecimiento económico mediante la creación de los estándares más laxos posibles.

Se pueden emplear diferentes tipos de estándares para especificar los objetivos de calidad del agua y los niveles deseados de tratamiento o reducción. Hay cuatro categorías generales de estándares:

1. Estándares ambientales. Los estándares ambientales especifican los niveles deseados de características físicas, químicas y biológicas en el agua u otros medios receptores. La especificación de estándares ambientales es simplemente una declaración de los objetivos de calidad del agua. El estándar debe lograrse por otros medios, como la especificación y el cumplimiento de los estándares de descarga, propósitos de contaminación u otros mecanismos de precios, todos los cuales pueden aplicarse tanto individual como colectivamente.
2. Normas de descarga. Las normas de descarga expresan los aspectos biológicos, químicos y físicos (y en algunos casos las cantidades) de aguas y otros materiales que pueden descargarse en aguas superficiales u otro cuerpo receptor. Los estándares de descarga son efectivos con contaminantes de fuentes puntuales donde se pueden identificar y monitorear el punto de descarga. Por lo general, son ineficaces para controlar la contaminación de fuentes difusas, debido a las dificultades para identificar el lugar donde se puede aplicar y hacer cumplir la norma.
3. Estándares basados en tecnología. Los estándares basados en tecnología especifican los tipos de tecnología y las consideraciones operativas relacionadas necesarias para lograr un estándar ambiental. Especifican qué tratamiento o tecnología de tratamiento se debe aplicar al flujo de residuos antes de que se descargue. Estos estándares generalmente se establecen en base a consideraciones de efectividad y costo. Un ejemplo familiar es el requisito de niveles primarios, secundarios o avanzados de tratamiento de aguas residuales.
4. Estándares de insumos. Los estándares de insumos especifican la cantidad y calidad de insumos específicos utilizados en el proceso de producción. Su finalidad es afectar la calidad y cantidad de los residuos que posteriormente se generan y se vierten al medioambiente. Estos se han propuesto como un medio para hacer frente a los contaminantes de fuentes difusas, pero no tienen un historial sustancial de uso o eficacia. Se utilizan para regular otros tipos de contaminantes en algunos países

económicamente avanzados, particularmente donde son relativamente sencillos y económicos de aplicar.

### Otros métodos de gestión de la calidad del agua

Si bien las prácticas de establecer, implementar y hacer cumplir las normas de calidad del agua son las técnicas más utilizadas para gestionar la calidad del agua en todo el mundo, existen otras opciones disponibles. Una se basa en el principio de quien contamina paga, en el que la responsabilidad de la contaminación del agua recae claramente en el agente que descarga las sustancias contaminantes. Este esquema proporciona un incentivo para reducir la contaminación hasta el punto en que sea más barato pagar el impuesto que tratar o eliminar los desechos en cuestión.

### Mejores prácticas de gestión

Se ha demostrado que los programas de aplicación de las mejores prácticas de gestión son eficaces para gestionar y proteger la calidad de las aguas subterráneas. Esos programas especifican los niveles permitidos de fertilizantes y plaguicidas, regímenes de protección contra la erosión y otras prácticas agrícolas y de uso de la tierra que conducen a la minimización o eliminación de fuentes puntuales de contaminación de las aguas subterráneas. Estos requisitos generalmente dependen para su eficacia de la cooperación de los propietarios de las tierras que cubren el acuífero en cuestión. Requieren la cooperación de los usuarios de las aguas subterráneas suprayacentes que deben estar de acuerdo con las reglamentaciones y también con la aplicación de dichas regulaciones. En general, estos programas han funcionado bien en áreas donde el agua subterránea es la única fuente disponible de suministro de agua o donde los usuarios dependen de ella en una gran proporción.

### Conclusiones

1. Excepto en casos especiales, es eficientemente ineficaz tener contaminación cero.
2. Con base en la Ley de Conservación de la Energía y la Materia, el Principio del Balance de Materiales sostiene que la contaminación solo puede reducirse:

- a) reduciendo el rendimiento
  - b) reciclando los residuos
3. Los sumideros receptores de desechos, la tierra, el aire y el agua, están interrelacionados. Un nivel alto en un sumidero implica necesariamente una baja calidad para los otros. La gestión de la contaminación debe basarse en una visión integrada de los sumideros de desechos y no debe centrarse en uno solo con exclusión de otros.
  4. La contaminación del agua suele ser costosa para otros agentes; por lo que, por lo general, se requerirá una acción colectiva para mantener y proteger la calidad del agua.
  5. La vigilancia adecuada y eficaz es un requisito previo esencial para cualquier programa de control de la contaminación.
  6. La contaminación de fuentes puntuales es casi siempre más fácil de regular que la contaminación de fuentes no puntuales.
  7. La calidad de aguas subterráneas es difícil de gestionar porque prácticamente todos los contaminantes provienen de fuentes no puntuales y existen múltiples fuentes.
  8. Los estándares ambientales son declaraciones de objetivos, pero no conducen por sí mismos a una mejor calidad del agua.
  9. Para lograrlo, los estándares ambientales deben combinarse con los estándares de descarga, los estándares de tecnología o los estándares de entrada para controlar la cantidad de desechos descargados a las aguas superficiales.
  10. La calidad del agua subterránea suele verse degradada por contaminantes de fuentes difusas. Los programas de protección de cabezales de pozo y las mejores prácticas de gestión son eficaces para proteger y gestionar la calidad del agua subterránea.



En los siguientes 20 años vamos a tener distintos tipos de limitaciones de agua. Vamos a tener escasez y mayor necesidad de reusarla, por lo cual, estamos invirtiendo en los distintos sistemas de saneamiento. Actualmente, no estamos haciendo las cosas de la mejor manera; el 85% del agua residual no está siendo tratada, no solo en regiones como el sur de África o de Asia, sino también en Europa y Norteamérica. Las metas del desarrollo sostenible han puesto el enfoque en la necesidad de implementar este tipo de sistemas, por lo que estamos muy enfocados en este problema hoy y con visión de los siguientes veinte años.

Algunos gráficos sobre los sistemas de tratamiento de agua muestran que a medida que estamos construyendo muchos sistemas, no les estamos dando la ingeniería necesaria para su funcionamiento correcto. En India, por ejemplo, solo el 40% de estas plantas de tratamiento están siendo realmente utilizadas y, además, tienen capacidades que servían en los años noventa, por lo que estamos trabajando para aumentar esa capacidad.

Sin embargo, también vemos mucha innovación en este espacio, particularmente, en países desarrollados. Estos países han estado experimentando en los últimos cincuenta años un estudio piloto, al principio, con sistemas muy torpes, pero que con el tiempo han comenzado a mejorar y evolucionar y, ahora, estamos viendo mejores sistemas de desarrollo con mejores usos de energía. La innovación se enfoca en cambiar la física en la manera que estos sistemas funcionan; es decir, cambiar la viscosidad, la capacidad, entre otras características. Algunos países estamos embarcados en este viaje del tratamiento del agua para implementar sistemas más inteligentes, y hoy usamos menos energía para estos propósitos.

Existe un gran interés en estos temas en países como India o China, y en algunos países con los que trabajamos en el sub-Sahara y en África. No solo se trata de sistemas de tratamiento de agua y desagüe, sino también de las aguas que no están en los desagües; también se están implementando otros sistemas para tratar de mejorar la viscosidad, filtrar el material séptico. Vemos que hay una optimización en el modo de gestionar estos

vertimientos y las rutinas involucradas en ellos, el movimiento de estos desechos para deshacerse de estos contaminantes de una manera viable. Así, estamos viendo muchas actividades interesantes ejecutándose en el área de saneamiento, desagüe y sistemas descentralizados, pero también en el espacio de no saneamiento.

Otro desafío es saber qué hacer con nuestros desechos, porque no se trata solamente del agua residual, sino también de desechos sólidos y de la agricultura. Son temas que generan mucho interés, porque si comenzamos a observar el ciclo del agua con atención, podemos ver oportunidades para capturar valor en diferentes partes de nuestro sistema hídrico, en el agua limpia, pero también en el agua usada y en términos de red, pero teniendo en cuenta las plantas descentralizadas, su energía y recuperación. Tenemos que capturar valor desde la perspectiva centralizada y también desde la perspectiva descentralizada.

Tenemos ejemplos en que se están extrayendo muchas cosas del agua para generar nutrientes del desecho y también para generar energía. Vemos un movimiento hacia sistemas de energía neutral, incluso algunos casos que pasan al sistema de energía positiva; sin embargo, también vemos dificultades en la disponibilidad financiera y en la regulación de estos sistemas. No hay mucha claridad —en el caso de que se quiera producir energía y nutrientes— de cómo se podrían vender estos productos, debido a barreras regulatorias que se presentan.

De esta manera, creo que es importante ver la integración y armonización de la política en la reestructuración y en la regulación general de las cosas; son retos por enfrentar. Hay una clarificación de las responsabilidades, particularmente, cuando estamos observando un sistema integrado, por lo cual, encontramos muchas limitaciones en el uso de agua reutilizada y las posibilidades de volver a poner esta agua en la red pública.

Con respecto a la transición a aguas residuales y sus retos en los siguientes veinte años, como sector, me parece que la ciencia que desarrollamos desde hace ya mucho tiempo —y que buscamos poner en práctica— ha pasado por muchos análisis desde que se publicó el primer artículo sobre esta tecnología. Han pasado 35 años para que llegue al plano público. Entonces, hoy en día, la tecnología se mueve muy rápido y podemos imaginar el avance que ha habido hasta este momento. El sector es muy conservador y no acoge muy rápidamente este tipo de innovaciones, por una serie de motivos y porque tienen un presupuesto muy ajustado que deben gastar de



manera sabia para hacer innovaciones y observar los costos que requieren estas innovaciones; entonces, la capacidad y la voluntad de implementar estas tecnologías es otro punto importante.

En la International Water Association (IWA), hemos establecido plataformas de innovación y estamos haciendo análisis de redes sociales para tratar de estudiar quiénes son los líderes de opinión en la IWA, cuáles son estos constituyentes focales y cómo podemos empujar estas nuevas ideas que los miembros están generando en sus propias áreas, a través de los propios líderes de opinión y ver así la difusión de estos constituyentes.

También estamos tratando de evaluar cuál es la sensación del sector respecto del agua residual, sobre todo porque, en realidad, el sector no solo está lleno de elefantes, sino que también estamos tratando de diferenciar los diferentes elementos dentro de nuestra infraestructura. Es verdad que tenemos grandes infraestructuras de concreto —que llamamos elefantes— y que requieren grandes periodos de gestación y, por tanto, tienen largos periodos de vida; pero también tenemos los que llamamos caballos, que son nuestras bombas y dispositivos mecánicos, los cuales tienen periodos de gestación mucho más cortos y, por ello, tienen un periodo de vida más corto. Queremos evaluar todos estos sistemas y diferenciar los elefantes de los caballos, para lograr esta horizontalidad de nuestros recursos, en vez de pensar en un *continuum* vertical. Estamos tratando de motivar a nuestros miembros para entrenar a la gente que cuenta con una tecnología sensible y ciclos tecnológicos rápidos, para pensar de manera diferente y adquirir esta infraestructura de otra manera.

También estamos pensando cómo podemos reutilizar la tecnología que ya se encuentra en uso y la información que esta genera, a través del control de tecnología; es decir, cómo los centros tecnológicos nos permiten combinar estos elefantes con estos caballos, para obtener mejores resultados. Esto es lo que estamos haciendo últimamente, estamos acelerando este tipo de acciones en el sector del agua.

Por otro lado, respecto del área de recuperación de recursos y reutilización, suele pensarse que es la panacea y que vamos a lograr un balance económico con ello, pero todavía estamos en la etapa inicial para llegar a ese punto y hay mucha especulación al respecto.

La política de organización es de reestructuración. A pesar de que estamos desarrollando mucha tecnología que nos permite capturar nutrientes

de nuestro flujo de desecho, todavía no tenemos un entendimiento completo del modelo de negocio que vaya a funcionar. Hay que ver la investigación de quienes han comenzado a preguntarse quiénes van a ser sus clientes si generan fertilizantes de sus desechos: agricultores, compañías fertilizantes; es decir, tratar de entender cuál es nuestro segmento de clientes para saber por qué comprarían nuestro producto y no el de otros; preguntarse, por ejemplo, si podemos competir con el Gobierno que también provee fertilizantes. Entonces, hay que analizar los costos para poder concretar propuestas de valor a distintos segmentos de clientes y dar con los compartimientos de negocio y de ganancia.

Existe un elemento que estamos tratando de acelerar para innovar, porque tenemos esta noción de nuestra infraestructura como elefantes, pero que puede innovarse rápidamente para cambiar. Un aspecto positivo de todo esto, aunque muy difícil de escalar, es la nueva tecnología, especialmente, en cuanto a recuperación y reutilización de energía. Sigo siendo optimista, porque en el mundo desarrollado se están presentando ciertos indicadores y se está comenzando a trabajar desde cero para armar un sistema más inteligente y más reactivo que los sistemas actuales.



Lo primero que quiero decir es que uno de los problemas que afrontamos sociedades como las nuestras es el limitado acceso a la educación de calidad. Creo que, si fuéramos una sociedad homogéneamente educada, muchos de los problemas de contaminación del agua, que hoy estamos enfrentando, se reducirían fuertemente, ya que muchos de nosotros, en nuestra ignorancia, nos comportamos como un vector importante que la favorece.

La contaminación del agua tiene un efecto multifactorial; tenemos múltiples factores que impactan sobre las sociedades que la sufren, pero que lo hacen de un modo más importante en las sociedades de las zonas rurales. Les pongo un ejemplo muy sencillo: en Lima, una ciudad que tiene acceso al agua mediante la empresa distribuidora central, el agua le cuesta a un poblador aproximadamente 0,8 dólares por metro cúbico; sin embargo, si nos alejamos un poco, llegamos a la zona periurbana, donde la gente accede a un agua que vale aproximadamente entre 5 y 7 dólares por metro cúbico, 8 veces más el precio que paga una persona en la ciudad, y que, además de pagar más dinero por el mismo producto, tienen varias cosas en contra. Por ejemplo, tienen la posibilidad de acceder solamente a 30 —o quizás menos— litros de agua por día, en comparación con el poblador de la ciudad que tiene entre 200 y 250 litros por día. Pero, adicionalmente a eso, el agua es cuestionable en cuanto a su calidad, porque el transporte a través de los camiones con agua es inseguro y la recepción del producto se hace sobre recipientes poco adecuados. Entonces, se ve que como seres humanos tratamos de modo diferente a las personas, pues no entregamos el mismo producto a ciudadanos que tienen, al igual que nosotros, los mismos derechos, y eso es algo que debemos resolver.

Ahora, yendo un poco lejos, en la zona rural, existe el muy importante problema de no conocer cuándo el agua está o no está contaminada. Ahí entra a tallar el monitoreo, visto como una herramienta constante y consistente que se lleva a cabo no solamente como respuesta o sospecha de que haya contaminación, sino, sobre todo, como evaluación de aquellas herramientas que

estamos introduciendo en determinados sitios. Por ejemplo, cuando hacemos pozos subterráneos en la selva para brindar acceso a agua de buena calidad, lo hacemos porque al monitorear sabemos que el agua superficial tiene, en general, malas condiciones; sin embargo, en un estudio reciente que hicimos con unos amigos en Suiza, probamos que el agua subterránea estaba contaminada con iones polimetálicos. Entonces, ese concepto de que el agua subterránea es de mejor calidad se desvanece.

Necesitamos, en ese contexto, para estas zonas rurales, construir tecnologías que puedan ser absorbidas por sus pobladores, porque, en general, las zonas rurales tienen limitado acceso económico, limitado acceso a energía, a productos químicos y a recurso humano técnico. Por tanto, si deseamos desarrollar tecnologías que puedan ser eficientemente aplicadas allí, necesitamos que estas tecnologías sean eficientes, robustas, fáciles de implementar y fáciles de mantener técnicamente. Sobre todo, necesitamos pensar seriamente que, una vez que implementemos estas tecnologías, deberían ser adecuadamente absorbidas por la población, de otro modo, nada de lo que estamos desarrollando y construyendo va a tener éxito.

Quisiera plantear, como una posibilidad importante, el hecho de que cuando construyamos este tipo de políticas de promoción del agua de calidad, se tome en cuenta que, si ponemos una multa o un costo al vertimiento de contaminantes, ese costo debería ir directamente al desarrollo de tecnologías que sean utilizadas para la solución del problema generado por ese vertimiento o por esa contaminación. Sin embargo, en este momento, cuando se pone una multa, ese dinero llega a un sitio indeterminado y se utiliza en una acción indefinida, con lo cual, existe un desincentivo en ambos lados: el que contamina, generalmente, prefiere contaminar y cuando engaña al Estado, no paga nada; pero el incentivo sería para la persona que está siendo afectada, pues se vería motivada a denunciar, porque sabe que así el Estado intervendría técnicamente para resolver su problema.

En países como este es sumamente importante que la ciencia y la tecnología se validen, es muy importante que se vea que el Estado está incidiendo directamente en la solución del problema. En realidad, como veo las cosas, el problema parte de la realidad en la que vivimos. Así, 70 % de la población de nuestro país es urbana y 30 % es rural; sin embargo, esa población rural está mayoritariamente dentro del 70 % que es informal, habiendo solamente un 30 % que es formal, y las leyes y regulaciones se implementan

para esas sociedades formales. Por tanto, nuestro Estado no está llegando suficientemente fuerte y ordenado, ni con un mensaje claro y sencillo a esas poblaciones rurales.

En ese contexto, tenemos que reducir barreras. Se necesita crear tecnología *ad hoc*, a la medida de esas poblaciones rurales que están, en general, no concentradas, sino dispersadas en una gran área geográfica y muchas veces de difícil acceso. Entonces, cuando pensamos en implementar tecnologías, debemos pensar en soluciones que funcionen para concentraciones pequeñas de gente, pero que sean autónomas y sostenibles en el tiempo; adicionalmente, se pueden implementar de un modo comercial, porque eso, al final, le daría sostenibilidad. Pero las barreras que hoy se tienen en la adopción de tecnologías desarrolladas en este país son muy altas; no se espera que generemos tecnología, no se espera que haya una intervención del personal técnico peruano para participar de la solución del problema.

Mientras no cambiemos eso, mientras no veamos que esa es la fuente del problema, no podremos hacer nada para poder cambiarlo. Si visualizamos eso como una posibilidad de solución o como un reto, entonces podremos todos pensar y comenzar a crear esos estímulos positivos que nos permitan, efectivamente, participar de la solución.

Regreso al tema de las multas. Si se multa como Estado, esta penalidad debe regresar a entes como el CONCYTEC, por ejemplo, para ser utilizada en la solución de ese problema que generó la multa. Ello redundaría en algo que se necesita en este país: que la gente identifique que el Estado participa de la solución y no que solo se acerca a la población para demandarle cosas. Esto es fundamental en la visualización de la problemática.

Como ejemplo de esto, tenemos un caso en el que estamos trabajando. Se trata de tres plantas de descontaminación que hemos desarrollado y colocado en tres pueblos de la selva, son plantas autónomas que trabajan con energía del sol y producen agua descontaminada para una población pequeña que está alrededor. Pero producen exceso, tanto de energía como de agua descontaminada. Al tener exceso de energía, la población va a mejorar su calidad de vida y reducir sus costos, porque pueden utilizar la energía para echar a andar el motor con el que sacan el agua del pozo subterráneo. Además, tienen exceso de producción de agua, con lo cual se posibilita un desarrollo comercial propio para que irradie en las zonas geográficas cercanas al lugar donde se ubican estas plantas.

El concepto que manejamos cuando desarrollamos estas tecnologías está muy sintonizado con la necesidad de que la sociedad adopte la tecnología. Algo adicional es que, a pesar de que tenemos estas plantas en la selva, las podemos atender desde Lima mediante internet y, de esa manera, podemos verificar que estos dispositivos estén funcionando bien, porque, dicho sea de paso, no necesitan personal técnico.

Por tanto, pensando en una solución parcializada desde el punto de vista técnico, sentimos que eventualmente vamos a llegar a ese punto en el que necesitaríamos que el Estado se proponga adoptar, como bien público, este tipo de desarrollos e iniciativas que ya están dándose por parte de los investigadores, pero que, en definitiva, deben ser adoptados por la población para asegurar su éxito.



Hasta hace unas décadas, las tecnologías del agua se centraban en la destrucción y estabilización de contaminantes ambientales. Sin embargo, estos sistemas producen residuos y consumen mucha energía, por lo que se volvieron insostenibles para nuestras sociedades confrontadas al cambio climático. Aprovechando conceptos desarrollados por las biotecnologías industriales, la industria del agua está evolucionando para enfrentar nuevos retos a su sostenibilidad: 1) la valorización de los nutrientes en las aguas residuales, 2) la producción de energía a partir de estos residuos, 3) la eliminación de contaminantes específicos; por ejemplo, metales pesados, antibióticos, hormonas y plaguicidas, y 4) la evaluación de la composición y de la contaminación de los sistemas de tratamiento y distribución de agua.

Todos o la mayoría de los nuevos retos están relacionados con procesos químicos y físicos en los cuales los procesos microbianos terminan implicándose. Es esencial conocer los complejos microbianos que entran en esos procesos para entender su funcionamiento, facilitar su eliminación u orientarlos a cumplir una tarea precisa. El manejo inadecuado en composición o cantidad de esas poblaciones puede conllevar, por ejemplo, a que ciertos procesos realizados en una estación de depuración no sean cumplidos con la mejor eficiencia.

Una de las complicaciones en el monitoreo de las aguas es que hasta el 99% de los microorganismos que la componen no son detectables con las técnicas microbiológicas clásicas. En los últimos diez años, se han desarrollado diferentes herramientas biotecnológicas agrupadas como “biotecnologías omicas”. Las “omicas” permiten caracterizar un ecosistema mediante el estudio de los genomas o de los genes de los organismos que lo componen (genómica y metagenómica), evaluar cuáles de estos genes se están expresando en las condiciones actuales (transcriptómica), identificar qué proteínas o enzimas están trabajando (proteómica), y finalmente determinar qué metabolitos se están elaborando (metabolómica). En conjunto, estas herramientas permiten establecer en una muestra ambiental “¿quién está aquí?, ¿en qué cantidad?, ¿qué está haciendo y cómo lo hace?”.

Nuevas normas europeas están evaluando aplicar la metagenómica “dirigida”, como un indicador de calidad. Esta herramienta analiza un gen presente en todas las bacterias, pero cuya secuencia es suficientemente diversa para identificar cada bacteria específicamente. Imaginamos el recorrido de un agua prístina que baja del cerro, con una composición microbiana conocida. Esta composición cambiará a medida que integra residuos o flujos provenientes de procesos agrícolas, industriales o urbanos. Estos cambios en composiciones y cantidades son indicadores de la calidad del agua, y la detección de ciertos gérmenes puede incluso proporcionar información directa sobre la presencia de metales pesados o de otros contaminantes.

La metagenómica de tipo “shotgun” permite conocer simultáneamente la composición de bacterias, virus, hongos y protistas que están presentes en un momento dado. Estas herramientas han sido utilizadas para comparar la calidad de aguas purificadas y embotelladas por diferentes procesos, evaluar el impacto de las descargas después de un tratamiento o para entender cómo ciertos genes de resistencia a antibióticos se difunden en el ambiente receptor de estos vertimientos.

El futuro de esas técnicas reside también en el desarrollo de estrategias de monitoreos rápidos y rentables para optimizar procesos de tratamientos o identificar fallas estructurales en la distribución del agua. Efectivamente, la disminución de una carga microbiana avala la efectividad de un tratamiento, mientras que su incremento entre la planta de proceso y la llave del usuario es indicador de fallas del sistema de distribución.

A su vez, estas tecnologías pueden servir para nuevos retos y descubrimientos. En el último año, diversos estudios de transcriptómica pudieron relacionar las cantidades de coronavirus SARS-CoV-2 en aguas residuales con la intensidad del brote de covid-19 en medio urbano. Herramientas ómicas serán útiles para la caracterización de la importante biodiversidad microbiana desconocida llamada “materia oscura microbiana”, compuesta por microorganismos cuyas propiedades metabólicas y ecológicas básicas no son conocidas. Por ejemplo, se ha descubierto recientemente en aguas subterráneas la presencia de bacterias ultrapequeñas que podrían ser simbioses de otras bacterias.

En conjunto, la incorporación de estas herramientas de vigilancia ómicas a nuevos laboratorios aparece estratégica, en particular en países como



el Perú, que combinan importantes falencias en sus sistemas de tratamientos y distribución de agua, con una diversidad de fuentes de agua única en el mundo que debe albergar una incalculable biodiversidad microbiana.

El principio fundador del tratamiento ecológico de las aguas es la construcción de ecosistemas que sean orientados a tareas o servicios mediante la manipulación de factores bióticos y abióticos que favorecen la expresión de las funcionalidades deseadas.

A continuación, presentaremos la estrategia aplicada por IncaBiotec para valorizar las funcionalidades de microorganismos nativos. El enfoque de uso de microorganismos nativos es fundamental por al menos dos razones: 1) si bien se podría utilizar microorganismos eficientes procedentes de otras regiones o de otros países, sus aplicaciones en ecosistemas abiertos podrían convertirse en una polución biológica, y 2) es muy probable que estos microorganismos no presenten la misma eficiencia por no ser tan adaptados a las condiciones locales.

La primera etapa corresponde a identificar mediante metagenómica a las poblaciones microbianas locales dominantes en estos ambientes contaminados. Esta información permite orientar el cultivo de microorganismos y facilita la selección de candidatos capaces de realizar una tarea específica *in vitro*. Luego de esta etapa de selección, la aplicación de las herramientas de metagenómica, genómica, transcriptómica, proteómica y metabolómica permiten establecer las vías metabólicas de funcionamiento de estos microorganismos, así como herramientas para monitorearlas y optimizar sus procesos *in vitro* e *in situ*.

Un ejemplo correspondería a una línea de trabajo relacionada a la biorremediación de dos contaminantes aplicados en la actividad minera. El Perú es un país minero que hace uso de cianuro o de mercurio para la extracción del oro. Parte de estos productos altamente tóxicos se acumula en el suelo y aguas y genera pasivos ambientales importantes.

Las actividades de lixiviación de oro se realizan en ambientes muy distintos, desde minas industriales situadas a varios miles de metros sobre el mar, donde el oro es extraído mediante el uso de cianuro, hasta campos mineros en la selva tropical, que son manejados por pequeños extractores que recuperan el mineral a través del uso del mercurio.

En cada ambiente se identificaron las comunidades microbianas presentes en el medio prístino y en los lodos y relaves residuales. La compara-

ción diferencial permitió identificar las comunidades que desaparecen y las que aparecen en presencia de cada tóxico, con el fin de orientar la selección de los microorganismos con más potencial. Las comunidades prístinas observadas fueron muy distintas entre los sitios geográficos, y también muy diferentes en función del tipo de contaminante aplicado. Los candidatos aislados fueron enfrentados *in vitro* a concentraciones crecientes de cianuro o de mercurio para seleccionar las bacterias más resistentes y capaces de degradar el contaminante. La identificación de genes, proteínas y metabolitos permitió caracterizar las vías metabólicas y definir si funcionaban a nivel intra- o extracelular de las bacterias. También permite establecer consorcios con actividades metabólicas complementarias.

Esta estrategia pudo ser extrapolada a nivel de campo. Por ejemplo, la aplicación del consorcio degradador de cianuro en la fosa de lixiviación de su mina de origen logró eliminar entre el 97% y 99% del cianuro en ocho días, llegando a concentraciones permitidas para ser liberadas en el medioambiente. Este proceso contrasta con los procesos de degradación naturales que pueden tardar años y contaminar progresivamente a la fauna, flora, las napas freáticas y las poblaciones aledañas.

El próximo desafío consiste en replicar estas experiencias a nivel nacional. Para ello se necesitará del apoyo de políticas nacionales que promuevan este tipo de estrategia basada en el uso de biotecnologías ambientales. Estas herramientas están disponibles en el país, lo que permitiría reducir los tiempos y costos de análisis necesarios para la selección y caracterización de microorganismos para la biorremediación del sector minero, pero que son extrapolables a otros desafíos ambientales, como aguas residuales de las actividades acuícolas, agrícolas, industriales y urbanas.



COLOQUIO  
**CIENCIA Y  
SOCIEDAD**

**CALIDAD DEL AGUA:  
SALUD DE LOS ECOSISTEMAS  
Y SALUD HUMANA**

Mesa 7

## **Los múltiples desafíos de la calidad del agua**

### **Conferencistas**

**Rajendra Shende**

Centro de Políticas Terre

**José Galizia Tundisi**

Instituto Internacional de Ecología

### **Panel**

**Fabiola León-Velarde**

Universidad Peruana Cayetano Heredia

**Katherine Vammen**

IANAS / Universidad Centroamericana

**Nicole Bernex**

Academia Nacional de Ciencias / Pontificia Universidad  
Católica del Perú / Sociedad Geográfica de Lima

**María Donoso**

Instituto del Ambiente de la Universidad  
Internacional de Florida

### **Moderador:**

**Benjamín Marticorena**

Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica  
(CONCYTEC)



## Diplomacia de salud global y diplomacia de gobernanza global

**Rajendra Shende**

Centro de Políticas Terre

Estoy muy complacido por la oportunidad de tratar sobre gobernanza y diplomacia relacionadas al agua en este último día del coloquio; igualmente, por hablar un poco sobre ecosistemas. El hecho de que esta mesa de trabajo haya enfocado su interés en la calidad y la importancia del agua demuestra cuánto significa en nuestras vidas.

El agua está presente en lo que comemos, en lo que tomamos, en lo que consumimos y también en la manera en la que nos comportamos. Muchas veces, nos olvidamos de que la calidad del agua conlleva hacia cierto punto de bienestar, debido a sus características. De hecho, no solamente es importante para la producción. Por ejemplo, al inicio de la humanidad, cuando exploramos nuestras posibilidades, primero nos enfocamos en las fuentes de agua y en dónde encontrarla, porque el agua siempre definió nuestra vida, y nos enfocamos en cómo tratarla y cuidarla.

En el planeta sí hay un enfoque en torno al agua, que busca cerrar ciertas brechas y que, definitivamente, persigue una mejor calidad de vida, no solamente en las regiones donde nos concentramos, sino en todo el mundo. Creo que este cambio está llegando en el momento adecuado.

Estando en el 2021, nos encontramos con una situación que define la manera en que los pueblos y las ciudades se comportan. Al respecto, hay que entender que tenemos comportamientos —y que hay cambios en esos comportamientos— que han tenido lugar en esta nueva normalidad; por ejemplo, lavarnos las manos, acción que representa un gran consumo de agua. ¿Qué hubiera ocurrido si no hubiéramos tenido este recurso para hacerlo durante la pandemia? Imaginemos que no podemos ordenar nuestra comida o nuestros abarrotes de la tienda, porque, sin agua no hay comida disponible. El agua no es únicamente importante en la vida normal, sino

también en tiempos retadores y de crisis planetarias; en estos tiempos de crisis, el agua es sumamente importante. Por esa razón, siento que este tema tiene que ser tratado como ningún otro recurso del ecosistema.

Debido a que es un espacio global, al igual que otros ecosistemas, ciertos problemas relacionados a la gobernanza global y la diplomacia de la salud están relacionados con el agua. Este recurso no solamente representa la igualdad en tiempos de crisis, sino también trata de igualar el alcance entre ricos y pobres. No creo que tengamos que ir muy lejos para ver esto, tanto los países pobres como los países ricos sufren de ciertas crisis de agua, y no solamente los ricos, sino también los más ricos. Esta es una situación que se podría caracterizar como un dilema. Y algo que siempre tenemos que tener presente es que los ricos tienen ventaja, porque tienen los recursos para afrontar mejor una crisis y sentir menos sus impactos.

Algo que todos los países del mundo tenemos en común es que las disputas y las crisis por agua también devienen en problemas en otros sectores. Por ejemplo, Australia enfrenta problemas con el agua, incluso las democracias más grandes, como la India, también tienen estrés hídrico, o en grandes economías como Estados Unidos y China, ellos también están pasando por esta crisis hídrica. Y no encontramos soluciones, porque el agua todavía no tiene un reemplazo. Muchas veces he sentido que Elon Musk debería enfocar su atención y su dinero en explorar el universo, pero, más que todo, para encontrar una alternativa al agua, en vez de lo que está haciendo.

En California, la temperatura cada vez sube más y, desde el 2015, esta tendencia no ha parado, lo que ha incrementado la crisis hídrica. En este lugar, conocido por sus emprendimientos, se ha dado el caso de que, a raíz de las temperaturas altas, un número de contratistas muy grande se dedican a pintar de verde el jardín de las casas que no pueden regarse; entonces, no importa si no tienes agua, porque mientras tengas el pasto —aunque seco—, puedes pintarlo y se ve bonito, pero, desafortunadamente, no puedes beber la pintura. El 30% de los californianos no tiene árbol de Navidad natural.

La palabra *sed*, en este momento, es una palabra horrenda, porque podemos tener emprendimientos que reemplazan algunos de los usos del agua de manera, digamos, inteligente, pero todavía no podemos reemplazar el agua que necesitamos para vivir. Entonces, la pregunta es cómo

vamos a resolver esto. En los últimos treinta años, la población se ha duplicado y nuestro consumo de agua ha crecido seis veces; claramente, esto nos muestra que estamos utilizando agua no solo para beber, sino también para otras cosas y, probablemente, estamos acumulando agua y la estamos desviando para usos no esenciales.

Sabemos que existen varios ecosistemas y la huella ecológica ya ha traspasado los recursos de un planeta Tierra. Al 2020, ya vamos consumiendo los recursos de un planeta y medio y, para el año 2040, para mantener nuestro cambio climático, habremos consumido los recursos de dos planetas.

Solo el 0,0007% de toda el agua de la Tierra está disponible para ser consumida por los seres humanos. Queremos asegurarnos de que, desde los elefantes hasta las hormigas, todos cuenten con el agua que necesitan, pero eso es algo que no estamos haciendo en este momento, porque tenemos miedo de que vayan a consumir más agua y nos olvidamos de que ellos también son parte de nuestra cadena de vida en el planeta.

Las metas de desarrollo tenían una fecha de caducidad de 2015. Ese año, se hizo una revisión para saber en qué punto estábamos y teníamos un éxito combinado. Por ejemplo, el acceso a agua potable y gran parte del saneamiento, muchas veces fallaron, aunque también se obtuvieron logros a nivel global. Así, uno de los programas más exitosos, que fue parte de la sostenibilidad ambiental, tiene que ver con el ozono y tuvo un gran éxito. La meta número 7 parece haber tenido éxito, y la gente duda y se olvida de que tener agua en la casa no garantiza que esta sea segura de beber. En todo el mundo se ve que tener agua en la casa es de por sí un éxito, pero tenemos otras metas a nivel global, más allá de tener agua en la casa. Estas metas tienen que ver con la hambruna y la pobreza.

No sabemos cuándo va a venir la siguiente pandemia y si vamos a tener agua para lavarnos las manos o, incluso, para desarrollar la vacuna, porque las vacunas requieren agua y vamos a tener un problema si no tenemos agua, ya que las vacunas se fabrican en países que ya tienen estrés hídrico de alto nivel.

¿Cuáles son las opciones que tenemos? Mucha gente dice que deberíamos gestionar mejor el agua y que deberíamos tratar de reciclarla y conservarla, de preservarla y de minimizar su consumo. No deberíamos ser codiciosos con el uso del agua; más allá del uso personal, yo no requiero ningún tipo de gestión hídrica.

Existen otras soluciones, como tratar de encontrar la huella hídrica, y este tema seguramente tiene que haber sido discutido en otro simposio del agua. Ahora tenemos básicamente que trabajar con lineamientos, y esto significa tener estándares en todos los lugares y, así, tratar de ver si el problema se nos va de las manos o si tenemos que pasar por algún tipo de transformación severa.

Hay una diplomacia alrededor del agua; por ejemplo, el Protocolo de Montreal para la protección de la capa de ozono además tiene un acuerdo climático para proteger el agua. Tenemos que juntarnos para discutir cómo vamos a enfrentar el reto del agua. Ya tenemos convenciones y protocolos, y también ciertos acuerdos con respecto a acciones hídricas, pero hay realmente muy poco esfuerzo y acción global. La economía verde para valorizar el agua, la diplomacia del agua y la gobernanza del agua son tres soluciones para nuestro problema hídrico y, definitivamente, no podemos decidir que el reciclaje del agua sea el único.

Hay una solución más que es la red de campos inteligentes, los Smart Campus Cloud Networks (SCCN). Este nombre se ve raro, pero, con la palabra *campus*, se acerca a la juventud, en las escuelas y en los institutos. Todos estos aspectos de la diplomacia del agua y de las soluciones a las crisis hídricas que enfrentamos pueden ser inculcados desde edades tempranas. Son soluciones que nacen de la necesidad de incluir a mucha gente para pensar en este tipo de problema; se trata influir en los jóvenes en las universidades para que continúen con este trabajo. Los campus de educación son donde se incuban los talentos jóvenes, se moldean las mentes, se forjan acciones transformadoras y se priorizan los objetivos de desarrollo. SCCN aprovecha el potencial de los jóvenes en los institutos educativos para poner a prueba el modelo y hacer que los campus sean sostenibles.

En resumen, la red SCCN se inició como una red global de campus educativos —escuelas, colegios, institutos y universidades— comprometidos con hacer una contribución tangible a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas. Como se sabe, los ODS fueron acordados por unanimidad por los 193 estados miembros del mundo en 2015 en el Desarrollo Sostenible de la ONU, con el compromiso colectivo de la humanidad de respetar los ecosistemas y la dignidad humana mientras avanza el desarrollo.

¿Y por qué en campus educativos? Porque se sabe que el hábitat de las personas también afecta el comportamiento y porque son grandes consumidores de agua. Además, son útiles para descubrir soluciones y mejorar ciertos procesos. En ellos tenemos gente joven, gente brillante; son los consumidores del mañana, fabricantes, hacedores de políticas, y ellos están ahí para aprender y entender de qué manera pueden solucionar ciertos problemas existentes, de modo sostenible.

Queremos incubar talentos, moldear las mentes, forjar las acciones; por eso creemos que los SCCN tienen un buen efecto, porque queremos que la gente tome acciones y que sea sostenible en su aprendizaje, eficiente en su desempeño y próspero en el momento de compartir información.

Entre los socios que tenemos en la red SCCN, hay compañías chinas, más de 200 universidades e institutos registrados y que se alimentan de información una de otras. Tenemos un lineamiento con respecto al agua (SCCN Water Guidelines), que es utilizado por los estudiantes para continuar sus metas de desarrollo sostenible 6 y 14. Junto con sus metas generales, también tienen que entender cuáles son las lecciones. Estas experiencias y éxitos van a ser compartidos en un panel de control dentro de las universidades. También estamos promocionando los reportes de sostenibilidad por parte de los campus, los cuales incluyen un punto sobre el agua y son desarrollados, normalmente, por externo, aunque las universidades ya pueden comenzar a hacer sus propios reportes.

Las acciones son mejores que los pensamientos y nuestro rol, cuando queremos promover esta idea, es guiar a los estudiantes para empoderarse gracias a esos conocimientos, que puedan cambiar y transformar las cosas. Estamos aquí para transformar y tenemos que hacerlo asegurándonos de que nadie se quede atrás en esa transformación. A menos que lo hagamos juntos, no vamos a poder lograr lo que queremos, y la manera de hacerlo es a través de nuestros campus y universidades. Se dice que cuando el último árbol sea cortado, cuando el último pez sea comido, cuando el último río se haya envenenado, y cuando el último copo de nieve se haya derretido, recién entonces nos daremos cuenta de que no podemos bebernos el dinero; este se puede almacenar, guardar y multiplicar, pero no se puede beber.





## Cátedra Unesco en Aguas Urbanas: Calidad y gestión del reúso y recuperación

**José Galizia Tundisi**

Instituto Internacional de Ecología

Esta conferencia se relaciona con el proceso de organización de la Cátedra Unesco en Aguas Urbanas: Calidad y Gestión del Reúso y Recuperación, ejecutada por la Universidad de São Paulo y el Instituto Internacional de Ecología. La motivación para proponer esta cátedra fue, naturalmente, el hecho de que Brasil tiene cerca de 80% de la población establecida en áreas urbanas, áreas que son de gran concentración; por ejemplo, metrópolis como São Paulo, con cerca de 20 millones de habitantes.

Así, la cuestión en el manejo del agua, el reúso del agua y la calidad de las aguas urbanas tiene una conexión directa con la calidad de vida de la población, con su salud y con la economía de estas áreas urbanas, de estos municipios. Fijamos la Cátedra Unesco en Aguas Urbanas en São Carlos, donde se ubica uno de los campus de la Universidad de São Paulo.

São Carlos está localizado prácticamente en el centro del estado de São Paulo, al sudeste de Brasil y tiene unos 250 000 habitantes. La región presenta una temperatura anual de 22 grados centígrados, precipitación de 1500 milímetros por año, vegetación tipo sabana que, en portugués, llamamos *cerrado*. La ciudad está situada en su gran mayoría sobre la cuenca de los ríos Tieté y Yacaré, a una altitud de 900 metros.

Es claro que la motivación tiene mucho que ver con lo que acaba de presentar el doctor Rajendra Shende. Dado que al 2050 vamos a tener un aumento en el consumo de agua, consumo de energía, y consumo y producción de alimentos, el nexo agua-energía-alimento está muy relacionado con este proceso. En aguas urbanas, tenemos que trabajar con los siguientes problemas:

- Gobernanza del agua
- Seguridad del agua

- Manejo de residuos
- Eventos extremos
- Control de la polución
- Reducción y reúso de agua
- Ciclo de agua en el sistema urbano, que requiere máximo cuidado

Entre los principales desafíos que tenemos que enfrentar en el siglo XXI están los siguientes:

1. El envejecimiento de la infraestructura
2. El aumento de la urbanización
3. El crecimiento poblacional
4. Los contaminantes emergentes
5. El cambio climático

En cuanto a la calidad del agua, se puede subrayar que pasó por muchos cambios en los últimos 150 años; cambios de una polución orgánica a una inorgánica; y ahora hay contaminantes, como pesticidas, herbicidas, antibióticos y otros componentes disueltos en el agua.

Las principales conexiones del agua urbana son con el medioambiente —por ejemplo, arborización, parques urbanos—; con la economía —el agua tiene una relación extremadamente importante con la economía del municipio—; la energía; producción de alimentos, salud y sociedad. Es decir, todo el conjunto del sistema urbano depende de la calidad y la cantidad de agua disponible para la población; veremos después que el comportamiento de la sociedad también puede estar influido por la cantidad y la calidad de agua urbana.

En cuanto a la evolución de la calidad del agua, de 1850 al siglo XXI se han dado una serie de problemas en torno a la calidad del agua y otros problemas que están relacionados con la sinergia entre cambios climáticos, calidad de agua y contaminantes emergentes. Al respecto, se llegó a la conclusión de que los sistemas de ingeniería —que son, digamos, sistemas de tecnología dura— no pueden resolver por sí solos los problemas de polución, especialmente la urbana industrial. Hay que aplicar soluciones como la ecohidrología, biotecnología ecosistémica, que son soluciones basadas en la naturaleza y de menor costo; por ejemplo, el problema de contamina-

ción por fósforo puede tratarse con otros mecanismos, además del uso de las técnicas de la ingeniería.

En São Carlos, como parte del proyecto de la Cátedra Unesco, hoy tenemos 16 parques, que ocupan 400 hectáreas de áreas verdes urbanas que podemos mantener y que disfruta la población. ¿Cuáles son las funciones de esos parques urbanos? Este es un punto muy importante, porque se trata de recuperar la relación de la población urbana con la naturaleza, pero también de proteger la biodiversidad, recargar las aguas subterráneas, suministrar agua a la atmósfera —por evapotranspiración—, áreas para investigación científica y oportunidades para brindar educación ambiental a la población urbana.

Está comprobado que las poblaciones que viven cerca de parques urbanos tienen una mejor calidad de vida, mejor calidad de aire porque respiran un aire más limpio. También hay trabajos recientes muy importantes que demuestran que los niños que viven en el entorno de parques urbanos serán, de adultos, personas menos violentas que aquellos que no crecen en contacto con parques urbanos. Por tanto, los parques son un instrumento muy importante para ayudar a la gestión de los sistemas de las ciudades. También son áreas para actividades culturales, controlan las inundaciones, sirven para el control y adaptación al cambio climático, son áreas para la recreación y deportes; asimismo, son áreas para las actividades científicas de las universidades y para el control de las temperaturas urbanas, porque los parques en el medio urbano producen temperaturas más bajas.

Otro punto importante de nuestra actividad será trabajar con las florestas en la municipalidad, con las áreas en donde no son explotadas; de igual modo, los humedales, los cuales son muy importantes porque tratan el agua antes de los trabajos técnicos de preparación para hacerla potable. Aquí hay una reducción muy grande del costo de tratamiento del agua porque esta pasa a través de este conjunto de florestas y humedales, que fijan fósforo y nitrógeno, y actúan como un sistema de biofiltración. En suma, tenemos que proteger los humedales y promover la creación de humedales artificiales en algunas áreas urbanas para ayudar a controlar las crecidas de agua durante precipitaciones muy elevadas.

Tenemos una red hidrográfica en el área urbana municipal que trata de ampliar la diversidad de la vegetación, manteniendo un aumento muy grande de la arborización y sus consecuencias positivas: control de los cambios

globales, control y protección de la biodiversidad, y también protección ante las crecidas de agua. Estamos acoplando, además, a nuestras cuencas, un sistema integrado de monitoreo inteligente, que coloca sensores de temperatura, dióxido de carbono, partículas en suspensión y metano, y transmitimos estos datos en tiempo real junto con datos de seguridad pública.

Tenemos un sistema de información en tiempo real de todas las condiciones ambientales del municipio, especialmente, del área urbana, e integramos esta data con la de la seguridad pública, medioambiente, movilidad e infraestructura. Todo ello es parte del proceso que estamos implementando: se trata de un laboratorio de inteligencia urbana, con la finalidad de que este proyecto de información se pueda transformar en un conocimiento que nos permita prever diferentes escenarios para el futuro de la ciudad y para su administración.

A continuación, mencionaré las áreas en las que nos enfocamos para la Cátedra en São Carlos. Una de ellas es la ecohidrología y las diversas soluciones basadas en la naturaleza para la protección y desarrollo ambiental; también, la cuestión de salud pública y protección del medioambiente; además, los datos urbanos, que tratan el conjunto de informaciones para transformarlas en conocimiento para acciones futuras.

Otra área de acción es el medioambiente relacionado con el agua. Estamos iniciando la medición de los contaminantes emergentes en todos los ríos de la ciudad para hacer un diagnóstico de la contaminación. Así, también, nos enfocamos en los sistemas urbanos degradados para recuperar la biodiversidad y la infraestructura de los ecosistemas, y mantener la función de los ecosistemas integrados; también está la silvicultura urbana, donde estamos colocando la infraestructura y poniendo en contacto a las asociaciones de barrio con la municipalidad para que ellos agreguen valor al proceso de administración de los parques y su manejo; de esa forma, la población realmente participará activamente en el proceso.

Otra área de trabajo es la que llamamos gestión de aguas pluviales, un fenómeno que estamos observando en la ciudad de São Carlos y en muchas otras ciudades de Brasil. Se trata de un aumento considerable de las precipitaciones, asuntos que tenemos que trabajar con soluciones basadas en la naturaleza y no solamente con el sistema de ingeniería. Por ejemplo, en noviembre de 2020, tuvimos 150 milímetros de precipitación en una hora, lo que causó enormes problemas en la ciudad.

En resumen, importan la regeneración urbana y el manejo de aguas, así como el nexo entre alimentación-energía-agua, que se ha mencionado en esta mesa. Es importante conocer cómo estamos considerando esta relación —que en muchos casos fue presentada por el doctor Rajendra Shende—. Tenemos claramente la cuestión de los recursos naturales —agua, suelo, ecosistemas, biodiversidad, recursos marinos, recursos no renovables—; después la cuestión de la seguridad humana —agua, alimento, energía, salud, renta, calidad de vida y tiempo de vida—; además el clima —temperatura, precipitaciones extremas, cubrimiento de hielo, corrientes oceánicas y la altura del nivel del mar— y, por último, algo muy importante que es la estabilidad social —eventos políticos, migración, violencia, conflicto y cooperación con instituciones—, la cual está relacionada con la vulnerabilidad ambiental.

Naturalmente, cuando hay vulnerabilidad ambiental, como en el caso del agua, hay una vulnerabilidad ambiental y una sensibilidad que se relaciona con conflictos, eventos políticos, migración, violencia, seguridad humana y sistema climático.

Así, hay que considerar que la ciudad es un conjunto de componentes, de subsistemas de un sistema donde todo está interconectado: educación, salud, movilidad urbana, medioambiente y agua, como la base del funcionamiento de la ciudad, no solo para la población, sino para la economía y otros procesos de producción, de alimentos, por ejemplo.

Entonces, si la ciudad es un sistema, hay condiciones para examinar la vulnerabilidad ambiental, la vulnerabilidad urbana, la sensibilidad de conflictos y la sensibilidad del clima, todo lo cual está interconectado. Estos son los aspectos principales de nuestra acción en São Carlos, en su primer año de actividad. Este 2021 vamos a realizar un seminario internacional. Están invitados a dictar conferencias juntamente con otras instituciones y organizaciones. Estamos en un momento muy importante para discutir el tema de las aguas urbanas y el cambio climático, y procurar soluciones.



En el sector salud nacional, todavía contamos con poco conocimiento para pronosticar qué pasará exactamente; sin embargo, algunas investigaciones que se han realizado, por ejemplo, en torno al fenómeno de El Niño y su relación con algunas enfermedades ayudan a predecir qué es lo que podría pasar con un clima más cálido y, aun, con un clima con falta de agua, como son los casos de enfermedades transmitidas por el agua, los casos de enfermedades de transmisión vectorial, transmitidas por animales —las enfermedades zoonóticas—, enfermedades transmitidas por alimentos y, por supuesto, los eventos que pueden darse por fenómenos climáticos extremos, las enfermedades mentales posteriores a cambios climáticos extremos —como hace poco los hemos vivido en el Perú— y la desnutrición y la malnutrición.

Este panorama, entonces, nos hace cuestionarnos y nos obliga como país y con todas las instituciones que tienen la obligación de relacionarse alrededor del tema del agua —sobre todo aquellas que trabajan desde la ciencia y tecnología— a pensar en los aspectos que ha detallado el doctor Tundisi sobre cuánto todos estos temas de agua tienen que ver con el manejo general de cómo hacemos la gobernanza alrededor, no solo de la salud, sino también del manejo de la basura y de los eventos extremos. Todo eso requiere una gobernanza más articulada que, desde la ciencia y tecnología, estoy segura de que podríamos aportar.

Además, tenemos retos, como ha mencionado el doctor Tundisi, de la infraestructura que ya está envejeciendo, de la urbanización que aumenta, del aumento de la población, la contaminación y, por supuesto, el cambio climático del que estamos siendo testigos, como lo vemos hoy en el invierno inclemente, por ejemplo, que están viviendo en Europa y algunos otros cambios que se dan en nuestros países del sur. También debemos tomar en cuenta la importancia de las conexiones del agua, la degradación del ambiente y de la salud, las condiciones alimenticias, la renovación energética y la economía global, de manera que es muy importante que, desde el Perú, desde las diferentes instituciones que trabajamos los temas de

ciencia y tecnología, investigación y salud, podamos tomar ejemplo de las buenas prácticas que se vienen mostrando en otros países.

En ese sentido, desde la Academia Nacional de Ciencias, con universidades como la Universidad Católica del Perú (PUCP), la Universidad Cayetano Heredia y otras, se está tratando de entender el tema de una manera más global y articulada. Esperamos que podamos avanzar un paso más luego del análisis de los aspectos en los que podríamos empezar a generar una dinámica más favorable para nuestro desarrollo sostenible. Debemos aprender a manejar estas relaciones complejas que tenemos entre grupos diversos, a través de criterios como accesibilidad, sustentabilidad, sobre la base de una gestión integrada —que a lo largo del coloquio también se ha llamado gobernanza del agua—.

De hecho, cuando esta gobernanza responde a la necesidad de regular las relaciones, deberíamos empezar a trabajar y conversar sobre el concepto de diplomacia del agua, y ojalá que, a partir de este coloquio y los importantes aportes de los exponentes que hemos tenido, trabajemos más intensamente sobre esos temas, no solamente en el Perú, sino también con actores importantes en la región.

Considero que esta diplomacia también debe darse al nivel local. Es por eso que ojalá podamos fortalecer los esfuerzos que se están haciendo desde la Academia Nacional de Ciencias con el CONCYTEC, para poder defender el uso del agua como un derecho de todos y para la propia naturaleza. Por supuesto, también para pensar cómo, desde la ciencia y tecnología, podemos asegurar esa agua que necesitamos para la agricultura, tanto la pequeña como la extensiva; para la generación hidroeléctrica, geotérmica; para la minería ambiental responsable; para incrementar y facilitar el trabajo en la agricultura y otras industrias.

Para ello, requerimos del conocimiento científico, de los sistemas de ciencia y tecnología, los rectores, la academia en general, los institutos de investigación, todos ellos cumplen un rol fundamental. El CONCYTEC ha promovido de manera permanente estudios que involucran el agua —su preservación y aplicaciones— como línea prioritaria de investigación y financiamiento, y así empiezan a hacerlo también en universidades e institutos en el Perú. Sin embargo, los recursos son muy pocos para que los proyectos científicos realmente estén articulados alrededor de los temas del mejor uso, calidad y distribución del agua, buscando esa optimización que necesitamos.

El desafío, pues, es enorme, pero debemos seguir adelante con esta distribución geográfica que cada día, felizmente, entendemos más gracias al aporte de la ciencia y la tecnología. Quiero terminar esta pequeña intervención mencionando que la información que nos llega principalmente de Israel nos indicaría que probablemente, hoy en día, la tecnología, la ciencia, la energía y, por supuesto, los recursos financieros podrían solucionar el problema del agua, mayormente, para un país como el Perú que, si bien es cierto, sufriría estrés hídrico en el año 2040 —como bien ha mostrado al inicio de la exposición el doctor Rajendra—, también tendremos mucha más tecnología, mucha más energía, y también un manejo tecnológico más avanzado de las energías renovables. Dejo abierta esta inquietud, e insisto en la necesidad de aprender de las experiencias exitosas.





**Katherine Vammen**

Interamerican Network of Academies of Sciences (IANAS) / Instituto de Investigación Interdisciplinaria en Ciencias Naturales de la Universidad Centroamericana, Managua

## Algunos de los múltiples desafíos de la calidad de agua

### Contaminantes emergentes

Quería mencionar algunos de los desafíos múltiples en torno a la calidad del agua. En la preparación de mi presentación sobre ecosistemas y aguas residuales encontré una cantidad de información que me asustó un poco, al ver el impacto de los contaminantes emergentes, algo que no es nuevo. Es urgente invertir más esfuerzos en intensificar la investigación para entender la amplitud y sus impactos en los ecosistemas y la salud humana. Un ejemplo positivo: el profesor Tundisi reveló en su exposición que la Cátedra Unesco en Aguas Urbanas: Calidad y Gestión del Reúso y Recuperación en Brasil trabaja en temas de contaminantes emergentes en el ambiente urbano.

La distribución de, por ejemplo, antibióticos ha sido mostrada en algunos estudios y se ha visto que tiene un gran impacto en la salud humana, debido a que se desarrolla una resistencia a ellos. Pero no solo impactan en la salud humana, sino también en los ecosistemas. Hay que destacar, por ejemplo, que en las plantas de tratamiento de aguas residuales pueden concentrarse los contaminantes emergentes que luego se distribuyen a todo el sistema hidrográfico por medio de los efluentes; esto, obviamente, aumenta la resistencia bacteriana y sus impactos en los ecosistemas. Creo que es un reto muy grande y que los centros de investigación y universidades tienen que invertir muchos más esfuerzos en ver el rol y la distribución de estos contaminantes.

### Políticas adaptadas al estado actual de calidad de agua

Un gran reto es la necesidad de enfrentar adecuadamente en nuestros países el desarrollo de políticas que se adapten a la situación actual de la problemática de la calidad de agua. Actualmente, existen una serie de leyes y

políticas del recurso agua. Pero, a veces, debido a la situación política en nuestros países y los actuales procesos de la contaminación del agua y su mal manejo, no se han logrado asumir los retos que tenemos para desarrollar *políticas adaptadas y adecuadas* para mejorar la gestión de los recursos hídricos.

### Capacidad institucional en calidad de agua

Un tercer desafío es si existe la capacidad institucional adecuada para enfrentar los problemas de la calidad de agua. No hablo solamente para la investigación, aunque, claramente, las universidades juegan un papel clave, sino también de las instituciones gubernamentales involucradas en la regulación y protección de los recursos de agua y su calidad. Es muy importante mejorar y actualizar la educación en las universidades, para que los futuros funcionarios tengan mejores conocimientos de la calidad de agua y los problemas actuales, o sea más adaptadas a la situación que vivimos hoy. Es necesario entrar en una nueva fase de mejor gobernanza con mejor capacidad institucional. Los funcionarios, en las diferentes instituciones, necesitan tener la oportunidad de capacitarse más en temas actuales y tener la formación que les permita estar preparados para enfrentar todos los retos de la calidad del agua. En este sentido, los vínculos entre las universidades y las instituciones del gobierno son importantes.

### Proyección de información sobre calidad de agua

La proyección amplia de los problemas de agua y factores ambientales involucrados deben llegar a un nivel público en general —comunidades rurales y urbanas—. Es el rol del sistema educativo preparar a sus estudiantes para ser investigadores y funcionarios en las instituciones, con capacidad para dirigir sus conocimientos hacia el público en general, a fin de garantizar que el público esté más informado y preparado para intervenir en mejorar la calidad de agua en sus comunidades, en las cuencas hidrográficas donde viven.

### Valores, ciencia y políticas

En este coloquio de Ciencia y Sociedad, se ha hablado sobre la importancia de combinar las ciencias y los valores, y más allá de cómo aplicar esta

combinación en un proceso de elaboración de mejores políticas para nuestros países y regiones.

### **Desequilibrio ambiental**

En el Instituto Interdisciplinario de Ciencias Naturales de la Universidad Centroamericana, en Nicaragua, hemos trabajado —como todos ustedes, preocupados por la situación de la pandemia de covid-19— en tratar de explicar cómo la situación ambiental ha llegado a un estado desequilibrado. Se ve, por ejemplo, en la reducción de la calidad y la cantidad de agua. Muchos países están sufriendo no solamente escasez, sino que tienen grandes problemas debido a la calidad del agua; también en la reducción de la biodiversidad de todo el mundo. El año pasado han salido muchos informes científicos alarmantes sobre la extinción de ciertas especies que, obviamente, como todo está enlazado, causa problemas en los ecosistemas con cambios drásticos en su biodiversidad. Asimismo, el problema que vivimos aquí, en Nicaragua, y en todos los países, es la pérdida de grandes cantidades de bosques, algo que también afecta la calidad y cantidad del agua. Todas son amenazas ambientales que hay que enfrentar.

### **Importancia de investigaciones interdisciplinarias**

Hoy en día es muy importante enfocarse más en investigaciones interdisciplinarias para abordar adecuadamente los problemas ambientales que estamos enfrentando en estos días. El enfoque monodisciplinario no es suficiente para analizar, enfrentar y resolver este tipo de problemas. Es un cambio que deben considerar las universidades, en sus cursos de pregrado y posgrado, para asumir la misión de resolver los problemas ambientales en la preparación de estudiantes con mejor capacidad adaptada para enfrentar un mundo más complejo.



**Nicole Bernex**

Academia Nacional de Ciencias / Pontificia Universidad Católica del Perú /  
Sociedad Geográfica de Lima

Este coloquio ha reunido a 29 especialistas a lo largo de 7 webinarios. Los conferencistas llegaron de Nicaragua, Colombia, Brasil, México, Ecuador, Estados Unidos e India. Hubo 13 panelistas peruanos y 9 de Canadá, Estados Unidos, Francia, Nicaragua, Panamá, Sri Lanka y Venezuela. Entre los ponentes, hemos podido observar la presencia de 44 % de mujeres, 50 % del total de ponentes son miembros de las academias de ciencias y el 33 % son puntos focales en su país del Programa de Agua de la IANAS.

Hemos podido observar un abanico de especialidades propias de las ciencias del agua: 36,3 % de profesionales cuya área de especialización eran las ingenierías agrícola, civil, ambiental, cívica, mecánica y otras; 18,2 % con especialización en biología, ecología y epidemiología; 18,2 % en bioquímica, genética y fisiología; 18,25 % en ciencias sociales, sociología, geografía y etnobotánica; 9 % en derecho; 9 % en física y química; 4,5 % en medicina y 4,5 % en otras especialidades.

Eso nos muestra la gran importancia de consolidar unos equipos interdisciplinarios y estructurar más y más metodologías, no multidisciplinarios, sino verdaderamente interdisciplinarios, con creación de nuevas métricas *ad hoc*. Debe insistirse más respecto de la enorme relevancia de investigar la salud de los ecosistemas y su total implicancia en la salud humana y de diferenciar lo que es ecosistema y ambiente, ecología y ciencias ambientales.

No podemos ignorar las brechas que existen en nuestras universidades, entre la formación y algunos de sus centros de investigación, muy avanzados con resultados prometedores; tampoco la dificultad que hay para crear puentes, no solamente entre ciencias y políticas —como nos lo ha recordado el profesor Henry Vaux—, sino entre ciencia y territorio, a nivel intercalar y multitemporal; en especial, en territorios urbanos. La exposición del profesor Tundisi ha sido sumamente aleccionadora y deberían escucharla todos nuestros alcaldes, e introducir su metodología y propuestas en los planes de desarrollo concertado.

Asimismo, necesitamos construir puentes entre ciencias y educación, para hoy y para el futuro. Sí es clave hacer ciencia interdisciplinar, y no podemos bajar la guardia; en la actualidad, es muy crítica la ausencia de puentes entre ciencia y educación básica regular urbana y rural.

Antiguamente, en sociedades rurales, el gran cuidador de la naturaleza era el propio ser humano. A lo largo de su vida, aprendía de la madre naturaleza: el libro más extraordinario que jamás se ha escrito le enseñaba aquella conectividad plena de la cual sabemos todavía muy poco.

Este ser humano rural sabía perfectamente cómo se recargaban los acuíferos, qué eran las amunas, qué suelos necesitaban, qué rocas eran las más adaptadas, qué vegetación absorbía el agua de la superficie, cuál el agua de la atmósfera, y cuidaba las napas freáticas; aprendía a domesticar la pendiente, a leer el cielo, las estrellas, las nubes; había una suerte de simbiosis impresionante entre la naturaleza y las sociedades rurales.

Hoy, pocas son las comunidades que han conservado y transmiten sus saberes y memorias, y pocos son los rurales. Los pueblos se han ido vaciando y nuestra América Latina tiene un rostro cada vez más urbano. ¿Y quién ha reemplazado a la gran maestra que es la naturaleza? ¿Quién nos va a enseñar la conectividad si no tratamos de cambiar nuestros modos de vida? Los niños, jóvenes y adultos urbanos se han olvidado —y muchas veces nunca supieron— de la ruta del agua, del papel vital de cada gran conector: el agua, sustento de vida; el sol, motor energético; el suelo, desarrollador de la vida; la biodiversidad y su tesoro genético insospechable.

¿Cómo volver a conectar la inmensa cantidad de niños, jóvenes y estudiantes urbanos con la naturaleza? Hemos podido observar, una y otra vez, cómo la ciudad da la espalda al mar, a los ríos, bosques, glaciares, ecosistemas acuáticos, a las riberas de sus propios ríos. La falta de educación ecológica y geográfica nos impide darnos cuenta de que la ciudad es totalmente artificial y depende completamente de los recursos naturales. La ciudad es objeto y sujeto, y juntos todos los urbanos, que vivimos a expensas de la naturaleza y de los ecosistemas, debemos aprender a conocer la cantidad de servicios que nos brindan y los beneficios que recibimos de ellos, día tras día. Tampoco somos conscientes de que, al degradar estos servicios, nos volvemos cada vez más vulnerables y menos resilientes.

Ciertamente, es importante estrechar las relaciones y trabajos entre el programa de capacitación y de educación de la IANAS y del Programa de

Agua. Muchas veces, hemos trabajado transversalmente; más que nunca, hoy, es una exigencia. Asimismo, es de suma importancia establecer una doble alianza estratégica, la primera con la Cátedra Unesco en Aguas Urbanas, del profesor José Tundisi, y la segunda con los Smart Campus Cloud Networks (SCCN), del profesor Rajendra Shende.

Las instituciones educativas y sus campus son laboratorios extraordinarios, donde se da la conectividad entre subsuelo, suelo y atmósfera, y pueden darse múltiples intercambios entre facultades.

Como subraya SCCN, es ahí donde las comunidades de jóvenes desempeñan un doble papel en el contexto de los ODS. En primer lugar, son el medio a través del cual la toma de conciencia sobre los ODS puede difundirse a través de sus actividades y planes de estudio. En segundo lugar, ellos mismos pueden generar el proceso que debe llevarse a cabo para alcanzar los objetivos.

La red SCCN adopta el enfoque de “superarse compartiendo y mejorar compitiendo”, características positivas integradas en el panel de control de nube basado en el internet de las cosas y en el foro de discusión de SCCN.

Desde 2017, la Pontificia Universidad Católica del Perú es parte de SCCN, no solo para el agua, sino también, desde 2020, para la neutralidad de carbono, y somos conscientes de que nuestro campus y los demás campus constituyen laboratorios extraordinarios. Son la salvaguarda del futuro, su válvula de seguridad, para el desarrollo de aquellos jóvenes que van a ser los profesionales, los líderes, los técnicos, los científicos, los gerentes, los responsables políticos del futuro. Quisiera pedirles que, desde el CONCYTEC, podamos integrar a muchas universidades peruanas en este movimiento y, desde la IANAS, a las universidades americanas. El joven, la joven, que aprende desde su práctica en el campus de su universidad que “gestionar el agua de forma sostenible es sin duda un negocio inteligente, un buen negocio”, nunca lo olvidará y transformará su entorno.



**María Concepción Donoso**

Instituto de Medio Ambiente de la Universidad Internacional de Florida

Quisiera empezar mi presentación en el contexto de qué significa la calidad del agua para la seguridad hídrica. Hoy en día, los países se esfuerzan por alcanzar las metas de desarrollo sostenible. Las Naciones Unidas y sus diferentes agencias técnicas nos indican que es fundamental alcanzar el objetivo número 6, que tiene que ver con la seguridad hídrica, para continuar el progreso de cara a las otras 17 metas de desarrollo sostenible.

En otras palabras, es importante que las comunidades, sean pequeñas o grandes metrópolis, puedan garantizar el acceso a las cantidades adecuadas de agua, así como a una calidad aceptable de estas, y a su vez salvaguardar el recurso hídrico. Esto permitirá sustentar tanto la salud humana como la de los ecosistemas. Para esto, es importante que la gestión de los recursos hídricos tenga a la cuenca hidrográfica como la unidad base de manejo. También es necesario garantizar la protección de la vida y de la propiedad contra riesgos relacionados con el agua: inundaciones, derrumbes, subsidencia del suelo y las sequías y, obviamente, adquirir mayor resiliencia contra el cambio climático.

En este contexto, la seguridad hídrica viene a ocupar un espacio especial en las actividades de gestión y en las actividades de gobernanza relacionada con los recursos hídricos. En resumen, cuando hablamos de seguridad hídrica debemos tener en cuenta la cantidad, la calidad y la seguridad *per se* del recurso. Solamente, si nosotros logramos la integración de estos tres elementos en la concepción de la seguridad hídrica, podrán los pueblos en general alcanzar sostenibilidad en lo relativo al uso y conservación de sus recursos de agua.

En América Latina, como en el resto del mundo, tenemos muchos retos en esta ruta del alcance de la seguridad hídrica. Parte de los sistemas de agua se encuentran expuestos a desafíos múltiples clasificados como técnicos, institucionales, políticos, así como desafíos financieros que, en especial, en estos momentos de la pandemia, se han agravado en forma exponencial. A su vez, se deben señalar los desafíos relacionados con la información o la falta de información.

Al referirnos a la calidad del agua, es preciso puntualizar que el propósito principal debe ser el de garantizar agua potable a las poblaciones en todo el mundo. De ahí la exigencia de mantener condiciones de las fuentes de agua

que permitan propiciar agua de calidad suficiente para satisfacer las necesidades humanas básicas. En lo que respecta a la cantidad de agua, se debe considerar la relación de la seguridad hídrica con la seguridad alimentaria. Siendo el sector agrícola el mayor usuario del agua, es primordial garantizar una agricultura eficiente que pueda soportar los crecimientos de la población mundial, para lo cual se precisa contar con las cantidades necesarias del recurso.

La calidad de agua se ve afectada en algunos casos por el aumento de la temperatura. Por ejemplo, en ciertos procesos de generación energética en plantas termonucleares o en plantas termoeléctricas, se usa el agua como refrigerante. Esta agua no siempre es reciclada y se devuelve a la fuente con una temperatura mucho más elevada, lo cual afecta los sistemas naturales en el cauce. En otros casos, los aumentos de contaminantes derivados de procesos industriales o de aguas servidas no tratadas afectan la condición del recurso, y a su vez afectan tanto la salud humana como la de los ecosistemas. También es importante que no olvidemos que el recurso hídrico es fundamental para garantizar el bienestar de las comunidades, desde una perspectiva paisajista y recreacional. Actividades relacionadas con prácticas de deporte, actividades turísticas u otras actividades que tienen que ver con el descanso, con la pesca, con la contemplación de la naturaleza son también importantes y no se deben obviar los incentivos que estas actividades proporcionan en apoyo de la conservación del agua y de los sistemas naturales.

Es decir, el agua es fundamental para los ecosistemas, pero no solo los acuáticos, sino los ecosistemas terrestres en general, y de ahí su importancia en un contexto multidimensional para la vida en nuestro planeta azul.

Por último, para garantizar la seguridad hídrica, desde la perspectiva de la calidad del agua, es importante que podamos definir cuáles son realmente los contaminantes principales del agua hoy día. Estudios realizados, inclusive por nuestra universidad, indican que la contaminación por desechos tóxicos sigue siendo importante, así como la contaminación por derrames de productos derivados de hidrocarburos, y en algunos casos hasta por filtración de tanques de contención de desechos de materiales radiactivos. Sin embargo, en el plano de la importancia y la frecuencia de estos procesos de contaminación, surge un nuevo actor que cada vez impacta más en la calidad del agua a nivel local. Este actor es el plástico. Contrario a lo que se especula, el problema mayor de contaminación por plásticos no está ligado a las bolsas de plástico, sino a las botellas de agua y otras bebidas que se multiplican sin contención, y existen pocas o ninguna regulación que permitan su dismi-



nución y control. Si bien algunos países han avanzado con reglamentos que prohíben, por ejemplo, el uso de bolsas en supermercados o el uso de pajitas para tomar refrescos, la presencia de plásticos en el ambiente es realmente alarmante, no solamente desde el punto de vista del efecto en las comunidades acuáticas, especialmente en las comunidades del mundo animal, sino que hoy en día también se encuentran materiales plásticos integrados a algunos órganos del ser humano. Estos microplásticos suelen ingresar a los sistemas humanos mediante el consumo de alimentos y líquidos, incluyendo el agua, o vía el sistema respiratorio cuando se aspira aire contaminado.

En ese contexto, es importante también hacer referencia a los contaminantes emergentes, de los cuales se habló con anterioridad. Entre estos, se debe reflexionar sobre lo que hoy en día se conoce como contaminantes “invisibles”; estos son derivados principalmente de los plásticos, pero también de otros productos químicos existentes y no son detectables por ninguno de los protocolos que se reconocen mundialmente. Para la detección de los contaminantes invisibles se requieren equipos altamente especializados, y son pocas las entidades en América Latina que disponen de ellos. Sin embargo, el aumento de este tipo de contaminantes ya se detecta en enfermedades cancerosas, tanto en humanos como en el reino animal.

Para terminar, quiero hacer una pequeña referencia a la situación que hoy nos ocupa con relación a la pandemia mundial de covid-19. Es importante que recordemos que, cuando hay una crisis, se necesita agua, y ello nos impulsa a pensar y a crear nueva ciencia, nueva tecnología y nuevas metodologías para abordar los problemas en cuanto a la calidad de agua. No podemos detenernos para solamente accionar como respuesta a una crisis, sino que la acción tiene que ser constante y cada vez más innovadora, eficiente y equitativa, para que alcance a poblaciones que no siempre han sido recordadas. No podemos, hoy, en el siglo xxi, ver imágenes de personas —en esta gran pandemia— que tienen que “lavarse” las manos con aguas contaminadas, que son —bajo todo tipo de criterio— tal vez más peligrosas que el virus mismo. Mientras existan comunidades en esas condiciones, la discusión sobre las acciones para alcanzar seguridad hídrica y la ejecución de las acciones mismas deben mantenerse, deben aumentarse; esto es una responsabilidad de la sociedad, pero, más aún, de los científicos. Cada vez se debe producir una mejor ciencia, una ciencia equitativa, una ciencia que ayude a que aquellos que tienen que tomar las decisiones puedan hacerlo de forma que beneficie a las comunidades en general, a lo largo de todo este planeta azul.

## Datos de los expositores

### MESA 1

#### **Calidad del agua y ecosistemas**

##### **Katherine Vammen**

Es especialista en calidad y gestión de agua y en estudios interdisciplinarios en ciencias naturales. Recibió su PhD con especialidad en Bioquímica, Genética y Biología de Desarrollo de la Universidad de Salzburgo, Austria. Actualmente, es directora del Instituto Interdisciplinario de Ciencias Naturales (IICN) de la Universidad Centroamericana (UCA), Nicaragua. Es coordinadora (Co-Chair) del Programa de Agua de la Red Interamericana de las Academias de Ciencias (IANAS); es punto focal de Nicaragua y representa a la Academia de Ciencias de Nicaragua en la Red. Fue decana de la Facultad de Ciencia, Tecnología y Ambiente de la UCA del 2016 a 2018; ha sido fundadora y coordinadora de la Maestría Regional Centroamericana en Ciencias del Agua y subdirectora del Centro para la Investigación en Recursos Acuáticos de Nicaragua de la Universidad Nacional Autónoma (CIRA/UNAN).

##### **Francisco Dumler**

Es licenciado en Administración de Empresas, magíster en Sociología y posee estudios de maestría en Antropología, realizados en la Pontificia Universidad Católica del Perú. Es presidente del Directorio de Sedapal y miembro del Consejo Consultivo de Fundación Los Andes-Yanacocha. Ha ocupado los cargos de ministro y viceministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Ha sido gerente de la Contraloría General de la República, gerente general y director ejecutivo del Fondo Nacional de Compensación y Desarrollo Social (Foncodes), secretario general de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), secretario general del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Asimismo, ha sido miembro del Directorio del Fondo Mivivienda. Realiza labor docente desde 1988 en diferentes facultades de la Pontificia Universidad Católica del Perú, de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos y en la Escuela de Posgrado de la Universidad del Pacífico.

### **Rosa Miglio**

Es ingeniera agrícola, con maestría en Ingeniería Agrícola y estudiante del doctorado en Ingeniería y Ciencias Ambientales por la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM). Es profesora principal de la UNALM, con 40 años de experiencia en docencia; ha sido decana de la Facultad de Ingeniería Agrícola, y jefa del Departamento de Ordenamiento Territorial y Construcción en la misma facultad. Es consultora en saneamiento sostenible, agua y saneamiento básico, tratamiento de aguas residuales. Es investigadora Renacyt y ha coordinado proyectos de investigación financiados por Fincyt, Sencico-Fondecyt y ERANet-LAC; además de cinco proyectos internacionales con las universidades Politécnica de Madrid, Politécnica de Barcelona, Politécnica de Valencia y la Cátedra Unesco de la Universidad Ramón Llull de España.

### **Lucio Quiñones**

Es químico, profesor de educación básica regular, magíster en Administración Pública, con especialidades en desarrollo rural, gestión integrada de los recursos hídricos, gestión de residuos sólidos, seguridad alimentaria, formulación y gestión de proyectos de desarrollo con enfoque de género y derechos humanos. Posee experiencia de trabajo con poblaciones rurales y urbanas de la zona andina, como promotor social, coordinador de estudios, formulación de planes ambientales y de desarrollo concertado, publicación de cartillas y folletos educativos. Jefatura proyectos y programas y, desde el 2016, es director ejecutivo del Centro Guaman Poma de Ayala, Cusco. Ha sido asesor de la Mancomunidad Valle Sur Cusco (1996-2017); delegado ante la Red Global de Organizaciones de la Sociedad Civil para la Reducción de Desastres (GNDR-Perú); delegado ante el Foro Peruano para el Agua; miembro de la Plataforma Agenda Cusco 2030, entre otros.

## **MESA 2**

### **Eutrofización y contaminación de aguas continentales y marinas: investigación y respuestas desde la ciencia**

### **Gabriel Roldán**

Es licenciado en Biología y Química por la Universidad de Antioquia, Medellín; Master of Sciences, por Kansas State Teachers College, Estados Unidos; doctor en Ciencias por la Universität des Landes Hessen, Alemania. Es profesor de

Ecología y Limnología en la Universidad de Antioquia Medellín; jefe del Departamento de Biología y jefe de la Escuela de Graduados en Biología de la misma universidad; además es jefe del Instituto de Investigaciones Marinas, Santa Marta. Ha recibido varios premios nacionales e internacionales y publicado 12 libros sobre biología y limnología, y más de 50 artículos científicos. Actualmente, ejerce como director de Publicaciones de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, de la cual es miembro de número. Es punto focal de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales para la Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS).

### **Ernesto González**

Es biólogo egresado de la Universidad Central de Venezuela (UCV), doctor en Ciencias, mención Ecología, también de la Universidad Central de Venezuela. Es profesor titular adscrito al Instituto de Biología Experimental de la Facultad de Ciencias (IBE-UCV), donde trabaja como docente-investigador desde 1993. Sus líneas de investigación son la limnología de embalses, las interacciones fitoplancton-zooplancton y la eutrofización de cuerpos de agua. Ha dirigido y participado en 11 proyectos de investigación relacionados con la caracterización fisicoquímica y biológica de los cuerpos de agua de Venezuela. Es punto focal de Venezuela en el Programa de Agua de la Red Interamericana de Academias de Ciencias.

### **Donald Anderson**

Obtuvo su doctorado en el Instituto Tecnológico de Massachusetts en 1978; luego se unió al personal científico de la Institución Oceanográfica de Woods Hole como investigador principal. Su interés de investigación se centra en las floraciones de algas tóxicas o nocivas (HAB) o mareas rojas. Los temas abarcan desde estudios moleculares y fisiológicos del crecimiento, la sexualidad y la producción de toxinas hasta la oceanografía y ecología a gran escala de las “floraciones” de estos microorganismos, incluidos el modelado numérico, la predicción, el control de la floración y una variedad de estrategias de seguimiento y gestión. Es autor y coautor de más de 330 artículos científicos y 14 libros.

### **Hugo Montoro**

Hugo Montoro es oficial de marina, especializado en Hidrografía y Navegación, bachiller en Ciencias Marítimo Navales por la Escuela Naval, magíster

en Ciencias de la Tierra por la Universidad de New Hampshire (Estados Unidos), diplomado en Ley y Política de los Océanos por la Academia de Rodas (Grecia). Es perito hidrográfico, profesor de Hidrografía en la Escuela de Hidrografía de la Marina; además, es miembro de la Sociedad Geográfica de Lima y organizador de eventos de sensibilización sobre la cuenca amazónica y océanos. Es miembro del grupo internacional de expertos GEBCO Carta Batimétrica General de los Océanos.

### MESA 3

#### **Agua y minería**

##### **Francisco Barbosa**

Es licenciado en Historia Natural por la Universidad Federal de Minas Gerais (UFMG), posee maestría y doctorado en Ciencias, con mención en Ecología y Recursos Naturales, y postdoctorado en Ecofisiología de Algas. Es profesor de Ecología y Limnología del Departamento de Genética, Ecología y Evolución de la UFMG, y profesor del curso de posgrado en Ecología, Conservación y Manejo de Vida Silvestre. Es miembro del panel de revisión de expertos del IPCC AR 6; vicecoordinador de INCT-Recursos Minerales, Agua y Biodiversidad-INCT-Acqua/UFMG; vicepresidente del Panel Independiente de Rio Doce/UICN; vicepresidente de la Fundación Biodiversitas y miembro del Consejo Deliberante de CI-Brasil.

##### **Julia Torreblanca**

Es abogada graduada por la Universidad Católica de Santa María, Arequipa, especialista en derecho minero, ambiental, administrativo, empresarial, derecho contractual y comercial, financiamiento de proyectos y permisos. Trabaja en Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A. desde 1997, donde ha ocupado varios cargos de importancia; en abril de 2012 asumió la Vicepresidencia de Asuntos Corporativos y continúa siendo responsable de las áreas Legal, Relaciones Gubernamentales, Relaciones Públicas y Comunitarias, así como Energía. Actualmente, también se desempeña como secretaria del Directorio de Sociedad Minera Cerro Verde S.A.A., directora de la Asociación Cerro Verde, encargada de administrar el aporte voluntario de esta empresa. Asimismo, es directora secretaria de la Sociedad Nacional de Minería, Petróleo y Energía, y miembro del Consejo Directivo de la Sociedad de Comercio Exterior del Perú ComexPerú.

### **Lucía Ruiz**

Es abogada con estudios de maestría concluidos en Administración de Negocios y Biología de la Conservación. Ha desempeñado cargos de dirección en el sector público y privado; además, es docente de la Pontificia Universidad Católica del Perú y de la Universidad Científica del Sur. Ha sido ministra, viceministra de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales y jefa de Gabinete del Ministerio del Ambiente; así como vocal del Tribunal de Resolución de Controversias Hídricas de la Autoridad Nacional el Agua. Ha sido directora de Conservación del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) Perú y directora ejecutiva de CIMA Cordillera Azul.

### **Tulio Santoyo**

Es gerente general de la Autoridad Nacional del Agua, organismo público adscrito al Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego del Perú. Es egresado de la Universidad Pedro Ruiz Gallo, con estudios de Maestría en Ciencias con mención en Ingeniería Hidráulica. Posee 33 años de experiencia en los sectores público y privado, y en la cooperación internacional. Fue coordinador de la Oficina Desconcentrada de la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (Sunass), en Tumbes. Además, se desempeñó durante 18 años en la Cooperación Internacional Alemana GIZ y fue especialista en Recursos Hídricos en el valle Chancay-Lambayeque.

## **MESA 4**

### **La multidimensionalidad de la calidad del agua**

#### **María Luisa Torregrosa**

Es doctora en Sociología por El Colegio de México y profesora investigadora de la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, sede México. Desde 1983, es responsable de la Red de Agua de la Academia Mexicana de Ciencias, punto focal del Programa de Agua de la Interamerican Network of Academies of Sciences (IANAS). Es miembro de la red Waterlat-Gobac, además de su fundadora. Ha diseñado y coordinado un conjunto de proyectos relacionados con las políticas de modernización para el sector agua, tanto en el ámbito urbano como rural, en el ámbito nacional e internacional. Es autora de diversos artículos y libros.

### **Fernando Roca**

Es doctor en Antropología Social, con especialización en Etnobiología, por la Escuela de Altos Estudios Sociales de Francia; máster en Teología por la Pontificia Facultad de Teología de la Compañía de Jesús en Francia. Es sacerdote jesuita, especialista en Amazonía, profesor principal de la Pontificia Universidad Católica del Perú, Departamento de Comunicaciones; además es director de la maestría en Altos Estudios Amazónicos, Escuela de Posgrado de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

### **Iván Lucich**

Es economista por la Universidad Nacional Mayor de San Marcos y magíster en Economía de los Recursos Naturales y el Medio Ambiente, por la Universidad de Concepción, Chile. Tiene estudios en Regulación Tarifaria, Mecanismos de Subsidios y Benchmarking del Programa de Teleformación de la Asociación de Entes Reguladores de Agua Potable y Saneamiento de las Américas (Aderasa), además realizó estudios en Economía de la Biodiversidad. Es presidente ejecutivo de la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (Sunass) y ha ocupado la Gerencia de Regulación Tarifaria y la Gerencia de Políticas y Normas de la Sunass, donde labora desde 2007.

### **José Fábrega**

Es licenciado en Ingeniería Civil por la Universidad Santa María La Antigua (USMA) de Panamá. Obtuvo una maestría y un doctorado en Ingeniería Civil, con especialización en Ingeniería Ambiental en Purdue University, Indiana, Estados Unidos. Es investigador titular en la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP) y director del Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas de la UTP. Es miembro del Sistema Nacional de Investigación de Panamá, miembro de la Junta Directiva del Global Water Partnership a nivel mundial y presidente del capítulo de Panamá de esta asociación (2013-2017).

## **MESA 5**

### **Agua y salud, investigación y respuestas desde la ciencia**

### **Ricardo Izurieta**

Posee un doctorado en Medicina por la Universidad Central de Ecuador y un doctorado en Salud Pública por la Universidad de Alabama, Estados Uni-

dos. En 1991, enfrentó la epidemia de cólera que se extendió por los países de América Latina como director nacional del Programa de Control del Cólera en el Ministerio de Salud Pública del Ecuador. En 2003, fue elegido vicepresidente del Instituto de Medicina Tropical y Preventiva Gorgas Memorial y, actualmente, es el enlace latinoamericano. En la actualidad, es profesor y director de Enfermedades Transmisibles Globales en la Universidad del Sur de Florida. Además, es miembro de la Academia Ecuatoriana de Ciencias y de la Red Interamericana de Academias de Ciencias del Capítulo del Agua.

### **Banu Örmeci**

Obtuvo su maestría y doctorado en el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad de Duke, Estados Unidos. Dirige la Cátedra Jarislowsky en Agua y Salud Global; es profesora investigadora en el área de Ingeniería de Tratamiento de Aguas Residuales y directora del Instituto Global del Agua en la Universidad de Carleton. Lidera un programa de investigación reconocido internacionalmente sobre el tratamiento de aguas residuales y biosólidos. Su investigación colaborativa con la industria de las aguas residuales ha dado lugar a varias patentes y tecnologías. Es miembro del Consejo Estratégico de la Asociación Internacional del Agua (IWA); ha sido presidenta del Grupo de Especialistas en Gestión de Lodos de la IWA; también es la coordinadora canadiense del Programa de Agua de la Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS).

### **María Luisa Castro de Esparza**

Es química con estudios de Ingeniería Química, Ingeniería Sanitaria, estudios de maestría en Gestión Ambiental y doctorado en Salud Pública (Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Universidad Nacional de Ingeniería, Universidad Nacional Federico Villarreal). Es colaboradora de la Cátedra Unesco de la Universidad Politécnica de Cataluña y auditor líder de The Canadian Association for Laboratory Accreditation Inc. (CALA). Ha sido funcionaria del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente CEPIS/OPS/OMS, donde durante 40 años ha brindado asesoría técnica en calidad del agua y laboratorios de salud ambiental en América Latina y el Caribe (ALC) en los siguientes cargos: asesora regional en Eco Salud, y en salud ambiental y ocupacional; y en aseguramiento de calidad y servicios analíticos ambientales, directora del Laboratorio de Investigación y Referencia en Salud Ambiental para ALC, directora de Laboratorio Refe-



rencia Ambiental para ALC. Actualmente, ejerce como consultora externa para la Organización Panamericana de la Salud y el Banco Mundial.

## MESA 6

### **Agua, salud, innovaciones y políticas públicas**

#### **Henry Vaux**

Es profesor emérito de Economía de los Recursos en la Universidad de California, donde también se desempeñó como director del Centro de Recursos Hídricos de la Universidad. Se desempeñó durante 10 años como vicepresidente asociado del Sistema de la Universidad de California, donde fue el director de operaciones de todos los programas en agricultura y recursos naturales. Estos programas se encuentran principalmente en los campus de Berkeley, Davis y Riverside. El Dr. Vaux es autor de más de 90 publicaciones sobre la economía de los recursos hídricos y la política del agua. Actualmente, se desempeña como copresidente del Programa de Agua de la Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS).

#### **Kala Vairavamoorthy**

Posee un doctorado y una maestría en Ingeniería Ambiental del Imperial College de Londres, Reino Unido, y una licenciatura en Ingeniería Civil del King's College de Londres. Ha dirigido varios proyectos de gestión del agua urbana para la UE, el Banco Mundial, el Banco Africano de Desarrollo, entre otros. Se incorporó a la International Water Association desde el Instituto Internacional de Gestión del Agua, donde fue director general adjunto. Fue el decano fundador del Patel College of Global Sustainability y profesor titular en el Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad del Sur de Florida. Fue profesor titular y presidente de Ingeniería del Agua en la Universidad de Birmingham, Reino Unido, y profesor y director del Núcleo de Sistemas Hídricos Urbanos Sostenibles en Unesco-IHE. Actualmente, es profesor adjunto en el Instituto Indio de Tecnología, Madrás (IITM).

#### **Juan Rodríguez**

Es físico, posee una maestría y doctorado en Ciencias. Ejerce como profesor principal de la Universidad Nacional de Ingeniería, donde es director del

Centro de Materiales Avanzados y Nanotecnología. Su área de investigación contempla el desarrollo y la caracterización de materiales avanzados nanotecnológicos, así como de prototipos, para la desinfección y remoción de contaminantes del agua. Posee tres patentes en esta área, más de 55 publicaciones internacionales indexadas y ocho capítulos de libros nacionales e internacionales. Fue ganador de los premios Concytec 2004, Mercosur 2006, Innotec 2012, entre otros. Es miembro de la Academia Nacional de Ciencias del Perú y director ejecutivo del Fondo Nacional de Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica (Fondecyt).

### **Benoit Diringer**

Es biólogo marino del Intechmer de Cherbourg, Francia, con especialización en acuicultura. Cuenta con una maestría en caracterización y prevención de enfermedades virales en cultivos de langostinos de la Escuela Superior de Altos Estudios (EPHE), realizada en Brasil con la Universidad de Montpellier, Francia. Tiene un doctorado en aplicación de biotecnología para la producción de organismos nativos para fines acuícolas y de conservación, realizado en el Perú con la Universidad de París Ciencia y Letras (PSL). Actualmente, es gerente de la empresa IncaBiotec, empresa dedicada a la investigación, servicio y educación en biotecnología molecular aplicada a los sectores acuícola, agrícola, agroalimentario, agropecuario, industrial, ambiental y la salud. Además, es profesor de la maestría en Biotecnología Molecular de la Universidad Nacional de Tumbes.

## **MESA 7**

### **Los múltiples desafíos de la calidad del agua**

### **Rajendra Shende**

Fue director de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNE). Dirigió un programa mundial ampliamente aclamado para proteger la capa de ozono. Fue autor principal y coordinador del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), que ganó el Premio Nobel de la Paz en 2007. Es experto senior en el Panel de Evaluación Tecnológica y Económica de UNE, y también se desempeña como presidente del Panel Asesor Internacional de Operation Earth, de China, India y Francia. Ha recibido numerosos premios por su trabajo en la protección del clima y la capa de

ozono; uno de las Naciones Unidas, y el premio Life-Time Achievement de India. Actualmente, es presidente del Centro de Políticas Terre, dedicado a acciones comunitarias sobre objetivos de desarrollo sostenible y cambio climático.

### **José Galizia Tundisi**

Es profesor retirado de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Ambientales de São Carlos, Universidad de São Paulo; miembro de la Academia Brasileña de Ciencias y del Instituto de Ecología de Alemania. Ha publicado más de 500 artículos científicos en revistas internacionales y 43 libros. Sus principales áreas de investigación son la limnología, gestión de recursos hídricos, gestión de cuencas hidrográficas, gestión de aguas urbanas, gestión de embalses. Ejerció como presidente del Consejo Nacional de Investigaciones de Brasil.

### **Fabiola León-Velarde**

Es bióloga y doctora en Fisiología por la Universidad Peruana Cayetano Heredia (UPCH). Fue investigadora asociada en la Universidad de París XIII y Fellow de Queen's College de la Universidad de Oxford, donde participó en proyectos de investigación en el Laboratorio de Fisiología de la Respiración. Tiene una extensa producción científica en fisiología de adaptación a la altura con más de 170 títulos en revistas internacionales indexadas, así como varios libros y artículos de su especialidad. Ejerció como vicerrectora de Investigación de la Universidad Peruana Cayetano Heredia y luego como rectora de la misma casa de estudios durante dos periodos consecutivos. Fue presidenta del Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica (CONCYTEC). Es miembro de la Academia Nacional de Ciencias del Perú y, actualmente, se desempeña como profesora principal del Departamento de Ciencias Biológicas y Fisiológicas de la Facultad de Ciencias de la UPCH.

### **Nicole Bernex**

Es doctora en Geografía, profesora principal de la PUCP y presidenta de la Sociedad Geográfica de Lima. Es vicepresidenta de la Academia Nacional de Ciencias-Perú, punto focal nacional del Programa de Agua de la Red Interamericana de Academias de Ciencias (IANAS). Es directora del programa

Agua, Clima y Desarrollo, de Global Water Partnership SouthAmerica; past chair para América Latina y Caribe del Comité Científico de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (UNCCD). Cuenta con más de 160 publicaciones, entre ellas *Agua sin mitos*, *La cuenca del Zaña*, *Aguas urbanas en el Perú*, *Aguas y arsénico natural en Perú*.

### **María Donoso**

Realizó estudios de Ingeniería Civil y cursó una maestría en la Universidad de la Amistad de los Pueblos en Rusia; asimismo, una maestría en Ingeniería Oceánica y un doctorado en la Universidad de Miami. Ha ejercido como directora de la División de Aguas de Unesco, directora del programa Global Water for Sustainability (USAID), hidróloga regional Unesco para América Latina y el Caribe; además de directora fundadora de Cathalac y del Centro de Investigaciones Hidráulicas de la Universidad Tecnológica de Panamá. Ha publicado más de 40 artículos. Ha sido consejera y consultora para varias entidades, tales como el Banco Interamericano de Desarrollo, la Organización de Estados Americanos, el Banco Mundial, El Consejo Mundial del Agua, la Organización Meteorológica Mundial, entre otros. Actualmente, es catedrática Unesco en Seguridad Hídrica Sostenible y directora de Programas Internacionales en el Instituto de Medio Ambiente de la Universidad Internacional de Florida, Estados Unidos.

El agua es esencial para la vida y la prosperidad de las personas; por ello, hoy en día, sus reservas, su preservación y su gestión son políticas de Estado; con acciones transversales que involucran a sus diferentes organismos. Su atención requiere enfrentar múltiples retos para conseguir y mantener una adecuada calidad del agua, desafíos que deben enfrentar el aparato del Estado en primera línea y el conjunto de la sociedad, organizada y sensibilizada en el uso racional, la defensa y la valoración de los recursos hídricos.

