

Universidad de Almería

LECCIÓN INAUGURAL DEL CURSO ACADÉMICO

2020-2021

Dra. Ana Agüera López



UNIVERSIDAD DE ALMERÍA

**LECCIÓN INAUGURAL
DEL CURSO ACADÉMICO
2020–2021**

*La calidad del agua:
una mirada desde la ciencia*



Dra. Ana Agüera López

Catedrática de Química Analítica

Departamento de Química y Física



UNIVERSIDAD
DE ALMERÍA

Sr. Rector Magnífico de la Universidad de Almería,
Excelentísimas e ilustrísimas autoridades civiles y
académicas,
Miembros de la comunidad universitaria,
Señoras y señores,
Con la venia,



Cuando hace unos meses se me invitó a dar esta Lección Inaugural, nada estaba más lejos de mi imaginación, que el escenario en el que actualmente nos encontramos. Y es que, en este año, 2020, nuestra sociedad, el mundo entero, ha tenido que enfrentarse a un reto sanitario sin precedentes.

Sin embargo, y aunque la pandemia está en este momento centrando el interés de ciudadanos y gobiernos, no debemos olvidar que éste no es el desafío más importante al que nos tenemos que enfrentar en estos momentos. La pandemia será vencida o se mitigará hasta niveles controlables. Sin embargo, el cambio climático y sus efectos, que los científicos ya anunciaban hace décadas, son, pese al negacionismo de algunos sectores, incluso de algunos gobiernos, el desafío más importante al que debemos enfrentarnos.

El cambio climático afectará a la disponibilidad de un recurso esencial en el que se basa nuestra sociedad, nuestra economía y nuestra supervivencia: el Agua.

El agua se ha convertido en el «oro líquido» del siglo XXI. De que el agua es un elemento esencial para la vida, no hay duda, nos lo enseñan desde la escuela. Nadie, hoy por hoy, concibe nuestra vida diaria sin contar con un acceso inmediato y seguro a una fuente de agua que satisfaga nuestras necesidades básicas. Y si esto es así para la población, tanto más lo es para la industria, el sector servicios y especialmente para la agricultura. Sin garantizar el recurso agua, es imposible mantener un sistema productivo, competitivo y generador de riqueza.

Sin embargo, el agua es un bien tan esencial como vulnerable y a menudo escaso. Esto parece difícil de creer en un planeta en el que el 70% de su superficie está cubierta por agua. Sin embargo, si pensamos en la distribución de esa agua veremos que tan solo el 3% es agua dulce. Y solo una pequeña parte de ese porcentaje se encuentra en forma de agua dulce disponible, formando parte de ríos y lagos o como agua subterránea.

Este porcentaje ya parece algo más preocupante, especialmente si pensamos que la explotación de estos recursos es cada vez mayor, como consecuencia de una serie de factores como:

- **El continuo aumento de la población:** las previsiones apuntan a que se alcanzarán los 11.200 millones de habitantes en 2100¹, con el agravante de que este crecimiento se concentrará especialmente en las zonas con mayor estrés hídrico.
- **El crecimiento de los núcleos urbanos:** si bien, en palabras de Ban Ki-moon, *«la urbanización supone una oportunidad para una gestión del agua más eficiente y un acceso mejorado al agua potable y a saneamiento»*, el rápido crecimiento de las ciudades dificulta la cobertura de dichos servicios al ritmo necesario. La población urbana del mundo ha crecido desde 750 millones de personas en 1950 a más de 4000 millones en la actualidad². Además, los hábitos alimenticios modernos y la mayor demanda de bienes de consumo de la vida urbana incrementan la huella hídrica que el ser humano produce, es decir, el «agua que no consumimos de manera directa» pero que necesitamos para producir esos bienes de consumo. A modo de ejemplo, se estima que la producción de un kilogramo de carne de vacuno supone un consumo de 16.000 litros de agua.

1 Noticias ONU: <https://www.un.org/development/desa/es/news/population/world-population-prospects-2017.html>

2 Noticias ONU: <https://www.un.org/development/desa/es/news/population/2018-world-urbanization-prospects.html>

- **El incremento continuo de la producción agraria:** alrededor de dos tercios del agua dulce disponible se destina a la agricultura. Sin embargo, considerando el rápido crecimiento de la población mundial, la FAO prevé que hasta 2050 la producción de alimentos deberá incrementarse en un 70%, con el consiguiente aumento en el consumo de agua³.
- **El desarrollo de la industria:** el consumo de agua debido a la actividad industrial es menor que el de la actividad agraria, sin embargo, es la fuente de contaminación más importante, como consecuencia de los vertidos de aguas residuales, sin tratar adecuadamente en muchos casos.

Todos estos factores se agravan en el contexto de cambio climático en el que nos encontramos, que está alterando el ciclo del agua haciéndolo más imprevisible y aumentando los periodos de sequía en zonas ya de por sí áridas del planeta. Se estima que más de 2000 millones de personas viven en cuencas fluviales en las que el consumo de agua supera la recarga y más del 80% de las aguas residuales resultantes de actividades humanas se vierten en los ríos o el mar sin ningún tratamiento, lo que provoca su contaminación. Así, el acceso a agua potable y saneamiento se

3 FAO: How to Feed the World in 2050. 2009.

ha convertido en uno de los 17 **objetivos de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible** adoptada por la Asamblea General de la ONU en 2015⁴.

Cuando hablamos de **desarrollo sostenible** nos referimos al concepto que surge en las últimas décadas del siglo XX por la creciente preocupación de la comunidad internacional al constatar los efectos que el desarrollo económico y social produce sobre el medio natural. En 1987, la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo de la ONU publica el «Informe Brundtland»⁵, que introduce el concepto de sostenibilidad como *«el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias»*. Se pretende frenar el deterioro ambiental, cada vez más patente, y que está llevando a un progresivo deterioro de la calidad del agua disponible.

La calidad del agua y el marco regulatorio

Cuando hablamos de calidad del agua nos referimos a las características químicas, físicas y biológicas de la misma, que determinan el uso para el que puede

4 United Nations, General Assembly. Resolution of 25 September 2015. Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development.

5 United Nations, Report of the World Commission on Environment and Development. Our Common Future. 1987.

ser destinada. Tradicionalmente, la calidad del agua se determina mediante la evaluación de parámetros físicos sencillos como el olor, sabor, color, temperatura o turbidez; parámetros químicos que indican el contenido mineral disuelto como pH o conductividad o parámetros biológicos, como la presencia de bacterias u otros organismos patógenos.

Sin embargo, un aspecto cada vez más preocupante es la presencia de contaminantes orgánicos, de origen antropogénico, asociados en gran medida a la creciente producción, consumo y vertido de productos químicos.

Tradicionalmente, la contaminación del medio ambiente acuático se ha asociado a la actividad industrial o agrícola. Todos tenemos en nuestra retina las imágenes de ríos contaminados por vertidos incontrolados, que provocan la muerte de miles de peces. La actividad agraria, también ha estado en el punto de mira por el uso masivo de agroquímicos, que acaban contaminando de forma indirecta aguas superficiales y acuíferos.

Los estudios y la legislación medioambiental de las últimas décadas centraban su atención en un cierto número de sustancias químicas que presentan unas características que las convierten en altamente peligrosas para el medio ambiente y la salud humana. Son los conocidos como contaminantes orgáni-

cos persistentes (COP). Son compuestos altamente tóxicos que se caracterizan por ser persistentes a la degradación natural, por lo que permanecen en el medio ambiente durante largos periodos de tiempo, incluso décadas. Son también bioacumulables, esto es, se incorporan en los tejidos de los seres vivos, pudiendo aumentar su concentración, según se asciende en la cadena alimentaria, lo que se conoce como biomagnificación. Estas características y otras propiedades físico-químicas, como su relativa volatilidad, favorecen que los COP puedan transportarse por el aire, el agua y las especies migratorias a largas distancias, traspasando fronteras internacionales y depositándose y acumulándose en ecosistemas terrestres y acuáticos en zonas en las que nunca se han producido o utilizado. Un ejemplo que demuestra esta movilidad es la presencia de DDT, un conocido plaguicida organoclorado, en tejidos grasos de pingüinos en la Antártida y osos en el Ártico.

Debido a la peligrosidad demostrada de estos compuestos se han aprobado diversos convenios internacionales encaminados a proteger la salud y el medio ambiente. El 22 de mayo de 2001, se adoptó el Convenio de Estocolmo⁶ sobre Contaminantes

6 Convención de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes: <http://chm.pops.int/TheConvention/Overview/TextoftheConvention/tabid/2232/Default.aspx>

Orgánicos Persistentes, que entró en vigor tres años después. El propósito era disponer de un instrumento jurídicamente vinculante que obligara a los países firmantes a reducir o eliminar la producción y uso de estos contaminantes, así como su vertido. Se establece una lista de 12 compuestos, conocidos como «la docena sucia», que incluye 8 plaguicidas (como aldrin, clordano, dieldrin, endrin, heptacloro, mirex, toxafeno o el más famoso de todos, el DDT); 2 compuestos industriales (como el hexaclorobenceno y los policlorobifenilos, los famosos PCB, muy usados como aislantes en instalaciones eléctricas), y 2 productos derivados de procesos industriales (como las dioxinas y los furanos). Esta lista inicial ha sido revisada en varias ocasiones incluyéndose otros COP, como retardantes de llama (pentabromodifeniléter y hexabromobifenilo), otros plaguicidas como el lindano y la clordecona, o detergentes y antiadherentes como los perfluorooctosulfonatos (PFOS), entre otros. A día de hoy, 184 países han ratificado el convenio, lo que ha supuesto un paso importante en la disminución de la contaminación ambiental por estos compuestos.

Otro hito que supuso un gran paso adelante en el propósito de proteger el agua y el ecosistema del que forma parte, fue la aprobación en el año 2000 por el Parlamento Europeo de la Directiva Marco

del Agua⁷, una de las directivas más ambiciosas en cuanto a legislación medioambiental de la UE. Entre sus objetivos se incluyó alcanzar un buen estado integral de las masas de agua superficiales y subterráneas. Entre las medidas propuestas, se adoptó una lista de 33 sustancias prioritarias que debían regularse, debido a su uso extendido y a las altas concentraciones que se registraban en ríos, lagos y aguas costeras. Algunas de estas sustancias fueron clasificadas incluso como «sustancias peligrosas prioritarias». Además, la directiva previó la revisión periódica de esta lista a fin de incorporar nuevas sustancias y propone estándares de calidad, es decir, límites de concentración que deben alcanzarse en las aguas de los estados miembros. Para ello, estableció la necesidad de fijar medidas comunitarias de control dirigidas a reducir la contaminación por estas sustancias o suprimir gradualmente su vertido.

Los contaminantes de preocupación emergente

Todas estas medidas han sido, sin duda, esenciales para conseguir una mejora de la calidad de nuestras aguas. Sin embargo, el problema de la contaminación se ha mostrado mucho más amplio y complejo.

7 Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000.

Las investigaciones científicas de las últimas décadas, han demostrado un aumento masivo y continuo de sustancias químicas de origen antropogénico en los sistemas acuáticos, en una variedad y cantidad mucho más relevante que los contaminantes orgánicos persistentes o las sustancias prioritarias legisladas. Son los llamados «contaminantes emergentes» o «contaminantes de preocupación emergente», que se definen como *«sustancias que actualmente no están incluidas en los programas de monitorización ambiental rutinarios pero que pueden ser candidatas para legislación futura debido a sus efectos adversos o su persistencia»*⁸.

Son compuestos no necesariamente nuevos, pero que están siendo detectados o «emergiendo» como resultado de la mejora experimentada por la instrumentación analítica en las últimas décadas, que ha permitido disponer de métodos de análisis altamente sensibles, capaces de detectar de manera rápida concentraciones de trazas (ng/L-mg/L) de estos compuestos en el medio acuático. En este sentido, la comunidad científica, en la que modestamente me incluyo, ha realizado un gran esfuerzo desarrollando nuevas estrategias de análisis cualitativo y cuantitativo eficaces y fiables que han permitido

8 Norman Network: <https://www.norman-network.net/?q=node/19>

identificar miles de compuestos en las aguas naturales. Son sustancias con usos y características fisicoquímicas muy diversas. Entre ellos, encontramos fármacos, aditivos de los plásticos, drogas de abuso, miroplásticos.

La «preocupación» por la presencia de estos compuestos surge de la escasa información sobre su comportamiento en el medio ambiente, sobre los peligros que suponen para la salud humana y los ecosistemas o sobre la toxicidad de sus productos de transformación. Y es que, una vez que estos microcontaminantes llegan al medio ambiente, sufren transformaciones fotolíticas, biológicas y químicas, generando productos de transformación desconocidos que pueden ser más persistentes o tóxicos que los compuestos que los originan. La identificación de estos compuestos representa un gran reto para la química analítica ambiental, y abre un enorme campo de investigación aun escasamente explorado. Como ejemplo, en un estudio realizado recientemente por mi grupo de investigación para identificar la ruta de degradación por fotólisis del fármaco dextrometorfano, un opioide utilizado para aliviar la tos, se pudieron identificar hasta 19 productos de transformación diferentes, dos de los cuales fueron posteriormente detectados a concentraciones rele-

vantes en ríos⁹. Ello confirma la necesidad de estos estudios para alcanzar un mejor conocimiento de la contaminación de nuestras aguas.

Fuentes de contaminantes de preocupación emergente en el medio ambiente acuático

Pero la pregunta es, ¿cómo alcanzan estos compuestos el medio acuático? Desde los primeros trabajos que alertaron de la presencia de estos compuestos en las aguas, la mirada se puso en las aguas residuales urbanas, ya que en muchos casos se trataba de compuestos químicos de uso cotidiano. Fármacos de uso común, como el diclofenaco, paracetamol o ibuprofeno, antidepresivos, detergentes, componentes de cosméticos y productos de higiene personal, filtros solares, fragancias y una larga lista de compuestos que, tras su consumo, van a parar a las aguas residuales domésticas. Tanto si se vierten sin tratamiento alguno como si son tratadas en estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR), son la principal vía de entrada de cientos de estos contaminantes. Y es que las EDAR no están diseñadas para la elimina-

9 Campos-Mañas, M.C., Cuevas, S.M., Ferrer, I., Thurman, E.M., Sánchez-Pérez, J.A., Agüera, A. Determination of dextromethorphan and dextrorphan solar photo-transformation products by LC/Q-TOF-MS: Laboratory scale experiments and real water samples analysis (2020) *Environ. Pollut.*, 265, art. no. 114722.

ción de estos compuestos, que se vierten inalterados o solo parcialmente eliminados.

Debido a su elevada producción y consumo, la introducción de los contaminantes en el medio ambiente es continua, por lo que no necesitan ser persistentes para alcanzar niveles de concentración susceptibles de ocasionar efectos negativos en los ecosistemas. Para tener una idea de la dimensión del problema pensemos que hay más de 130 millones de sustancias químicas orgánicas e inorgánicas incluidas en el registro CAS (*Chemical Abstracts Service*), y se estima que se registran diariamente más de 4000 nuevas sustancias. Si a ello unimos los productos de transformación aún desconocidos que estas sustancias pueden generar, comprendemos fácilmente que queda mucho trabajo por hacer.

Y es que la identificación y cuantificación de los contaminantes proporcionada por la Química Analítica, así como a su toxicidad, es el primer paso para determinar los efectos que la actual contaminación provoca. Algunos de estos efectos ya son conocidos. Uno de los más relevantes está asociado a la creciente aparición de bacterias resistentes a antibióticos. Este fenómeno constituye una grave amenaza para la salud mundial, como ha denunciado la Organización Mundial de la Salud. Los tratamientos convencionales de aguas residuales urbanas fundamentados en el

uso de fangos activados u otros tratamientos llamados «secundarios» (de los que forman parte bacterias y hongos, junto a otros microorganismos) contribuyen a propagar esta resistencia a los antibióticos al descargar grandes cantidades de bacterias que han estado en contacto con estos medicamentos durante dicho tratamiento. La descarga de antibióticos sin tratar, aunque sea en cantidades muy pequeñas, también contribuye a promover el desarrollo de bacterias resistentes en ambientes acuáticos naturales.

Existe pues una necesidad urgente de mejorar los sistemas de tratamiento actualmente aplicados en las EDAR y de implementar tratamientos complementarios y eficaces que mejoren la calidad de los efluentes, eliminando los contaminantes químicos y biológicos, y permitiendo su vertido seguro al medio acuático o su reutilización para usos recreacionales, industriales o agrarios con todas las garantías de salud, en línea con La Estrategia Española de Economía Circular, España Circular 2030¹⁰.

El grupo de investigación que actualmente lidero mantiene desde hace más de 20 años una fruc-

10 Estrategia Española de Economía Circular, España Circular 2030: <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/el-gobierno-aprueba-la-estrategia-espa%C3%B1ola-de-econom%C3%ADa-circular-para-reducir-la-generaci%C3%B3n-de-residuos-y-mejorar-la-eficiencia-en-el-uso-de-recu/tcm:30-509533>

tífera colaboración con investigadores del CIEMAT que desarrollan su labor en la Plataforma Solar de Almería en el campo de la descontaminación y desinfección de aguas y más recientemente con el grupo de investigación de Ingeniería de Bioprocesos y Tecnologías del Agua de la UAL en el Centro Mixto de Investigación CIESOL del que formamos parte. Las diversas tecnologías desarrolladas durante estos años han demostrado ser eficaces en la eliminación de estos contaminantes químicos y biológicos, si bien su aplicación está limitada por la baja implementación de estos tratamientos en Europa en general, y España en particular. Solo muy recientemente se ha empezado a focalizar este tema en directivas específicas que apuntan en esta dirección, pero todavía la legislación es poco ambiciosa para resolver este serio problema de sostenibilidad de un recurso fundamental, como es el agua.

Conclusiones y Retos de futuro

Con todo lo dicho, es innegable que la contaminación del agua constituye un serio problema y es necesario abordarlo desde distintos enfoques que permitan mejorar el conocimiento disponible y actuar de la manera más eficaz posible.

Desde el punto de vista de la Química Analítica, es necesario desarrollar estrategias de monitори-

zación que permitan la detección rápida de nuevos compuestos, sus metabolitos y productos de transformación. Es necesario promover el empleo de métodos de detección de amplio espectro y su combinación con bioensayos basados en los efectos de estos contaminantes (como la toxicidad). Es fundamental crear bases de datos armonizadas con información de calidad y accesibles en toda la UE que permita aunar esfuerzos y avanzar más rápido sin repetir lo hecho por otros. Un aspecto éste fundamental en todo avance consistente del conocimiento científico.

Desde otra perspectiva, es necesario mejorar los tratamientos de aguas residuales para que resuelvan estos nuevos problemas, asociados al avance de la sociedad en su calidad de vida, ampliar el conocimiento sobre el comportamiento de los contaminantes en el medio ambiente, su persistencia, movilidad, sus efectos tóxicos y su impacto sobre los seres vivos y el medio natural. Alcanzar todos estos objetivos solo es posible, mediante una combinación inteligente y coordinada de disciplinas sinérgicas como la química, la toxicología, la genética, la ingeniería, la economía o la agronomía entre otras. Y la Universidad, que desarrolla un papel fundamental en el avance científico y su trasmisión a la sociedad en forma de conocimiento, así como en la formación de profesionales que lo puedan aplicar, se debe convertir en

un actor fundamental para abordar estos problemas, convirtiéndolos en nuevos retos.

Quiero finalmente dirigirme a nuestros estudiantes, especialmente a los que inician en este curso su andadura universitaria, para animaros a que a pesar de las dificultades que os encontréis, iniciéis esta nueva etapa con ilusión, y conscientes desde el primer momento del grado de responsabilidad, compromiso y esfuerzo que la sociedad os demanda.

Muchas gracias.

