

Prognosis de las Aguas: Evolución en la Contaminación

María Pilar Marco

Abstracto— *La escasez de agua, originada por el aumento de las demandas y el cambio climático, hace pensar en un cambio en su abastecimiento desde un punto de vista sostenible. Los recursos naturales del agua no son ilimitables, todo lo contrario; por eso las nuevas políticas de regulación de sus usos, así como su reutilización pueden ser las soluciones para no agotar este valioso recurso. La reutilización es una de las vías que requiere, por parte de la administración, su mayor atención. Un agua reutilizable de calidad va a tener diferentes usos solventando gran parte de la demanda. Los tratamientos convencionales de las aguas residuales, en muchos casos, generan aguas de baja calidad de usos muy limitados. Esto, junto con la existencia de una serie de nuevos contaminantes, como fármacos, productos de cuidado personal, drogas, pesticidas, ... no biodegradable, puede llegar a convertirse en un grave problema en las próximas décadas. Es aquí donde nuevos procesos ingenieriles, como la oxidación avanzada, juegan un rol importante. Estos tratamientos pueden eliminar estos compuestos y además generar aguas de buena calidad aptas para un gran abanico de usos. Este artículo pretende dar luz sobre los procesos de oxidación avanzada como solución al problema de estos nuevos contaminantes, contaminantes emergentes y, plantear una nueva vía de obtención de agua de calidad.*

Palabras clave: prognosis aguas, contaminación, oxidación avanzada

I. HISTORIA DEL ABASTECIMIENTO DE AGUA EN EL MEDITERRÁNEO PENINSULAR

EL agua es en el Mediterráneo uno de los bienes más preciados por su escasez y, a la vez, es también uno de los elementos naturales más temidos, por las inundaciones esporádicas que produce. Se da así una curiosa paradoja consubstancial en el clima mediterráneo por la cual es habitual la escasez o modestia hídrica y la ocasional aparición de intensos aguaceros. No son extraños en nuestras tierras mediterráneas largos periodos de sequía, en especial los estiajes, interrumpidos brutalmente por fuertes tempestades y aguaceros a finales del verano y durante el otoño. La cuestión es que estos aguaceros, a pesar de la gran cantidad de agua que precipitan, no acostumbran a solucionar la sequía, dado que el terreno es incapaz de retener y absorber estos aportes hídricos tan copiosos y concentrados en el tiempo.

El agua es un recurso natural que reviste carácter estratégico para las actividades económicas, más aún cuando su disponibilidad no se encuentra garantizada. Esta escasez viene más determinada por el uso que el hombre hace de ella que no porque se agote como recurso natural. El agua considerada como un bien de consumo constituye una de las responsabilidades importantes de los gobiernos municipales. Se habla demasiado de cómo aumentar la oferta de agua y demasiado poco de otros aspectos mucho más relevantes. Entre ellos, es el aumento desbocado del consumo sin ninguna expectativa de disponer de más agua. Por ello parece irresponsable seguir discutiendo si es posible aumentar la oferta, en vez de como controlar la demanda.

Hasta ahora, la Administración ha primado cubrir todas las demandas por encima de cualquier otra necesidad, lo que ha llevado aparejado necesariamente un incremento de la disponibilidad. Dentro de la planificación hidrológica realizada por los diferentes organismos de cuenca siempre se han destinado recursos y medios para infraestructuras, pero apenas para paliar el lamentable estado

de calidad de las aguas. Los casos de contaminación suelen pasar desapercibidos, excepto cuando afectan al abastecimiento humano o causan importantes mortandades de peces, por lo que es habitual que las confederaciones no hagan públicos los datos de contaminación, limitándose a facilitar información sobre aspectos generales (Greenpeace,2005). Pero la disponibilidad del agua no es una cuestión sólo de cantidad. Si la calidad del agua no es aceptable, esa agua no estará disponible para consumo. Y ese es el problema que afecta hoy a nuestras aguas. No hay agua, en parte, porque la que tenemos no está en condiciones de ser usada para consumo humano o riego. La política hidráulica nos ha llevado a una situación insostenible, que se hace más evidente en periodos de sequía como el que estamos viviendo. El 33% de nuestros cauces se encuentran en un estado de calidad inaceptable como consecuencia de la contaminación, situación que sería aún más dramática si se tuviera en cuenta el estado de las aguas subterráneas.

II. DIAGNOSIS DEL AGUA

La costa mediterránea durante estos últimos años ha experimentado un importante crecimiento de población, que probablemente se mantendrá en los próximos años. La población que actualmente es de unos 7 millones de habitantes se podría aproximar a los 8,5 millones en el año 2025. Los aumentos de población, a pesar de las políticas de ahorro de agua, comportarán un aumento de las demandas condicionado fuertemente por el cambio climático (ACA, 2008).

El cambio climático supone una nueva sombra en el futuro, y sus efectos constituyen otro elemento de incertidumbre en la garantía y la disponibilidad futura de los recursos. Para cuantificar sus impactos sobre los recursos hídricos en el ámbito local, hay algunas incertidumbres, y es necesario recordar que sus efectos se plantean a plazos más largos que los horizontes de la planificación hidrológica. De lo que no hay tantas dudas (respecto a las incertidumbres de las precipitaciones) es sobre los incrementos de temperatura actuales y futuros, y con ellos los de la evapotranspiración. Se puede considerar que habrá una reducción de las aportaciones superficiales y de recarga a los acuíferos, respecto a los registros observados en las series históricas, del orden del 5% para el año 2025.

Esta reducción, en unos sistemas tan frágiles como los actuales, puede ser crítica. Evidenciada, pues, la existencia de un déficit hídrico, la aportación de nuevos recursos a partir de la reutilización de agua regenerada, la desalinización y la descontaminación de los cursos de aguas, y una política constante de mejora de la eficiencia y el ahorro en todos los usos, quizás permita asegurar que el territorio mediterráneo tiene suficiente agua.

Un paso importante para la solución del desequilibrio hídrico es la descontaminación de los cursos de agua. Vertidos, residuos y fugas de productos de la actividad industrial resultan ser fuentes de contaminación para los distintos sistemas acuáticos y afectan el 6,7% de los ríos, el 2,9% de las aguas costeras y el 64,2% de las aguas subterráneas.

- ¿El agua se contamina con la actividad industrial?

La contaminación de origen industrial se manifiesta en la baja calidad biológica de los sistemas acuáticos afectados y en la presencia en el agua de metales (cromo disuelto, cromo IV, mercurio), compuestos orgánicos (cloroformo, naftaleno) y organoclorados (tricloroetileno, triclorobenceno). Aparte de los contaminantes mencionados, se ha encontrado relación entre la actividad humana y la presencia de los llamados contaminantes emergentes (por ejemplo, disruptores endocrinos), substancias aún no reguladas pero que pueden tener un efecto pernicioso sobre la salud de los sistemas acuáticos. Según los investigadores, 'el problema no es sólo el vertido de estos

contaminantes, sino que acaban acumulándose en el ecosistema y afectar al equilibrio de los organismos’.

- ¿Se contamina el agua con la actividad agrícola y ganadera?

El uso excesivo de abonos de origen inorgánico y orgánico, así como el uso inadecuado de plaguicidas, en la actividad agrícola contaminan las aguas de los ríos (el 57% de los ríos), los embalses (el 13,3%), las zonas húmedas (el 25%), las aguas costeras (el 44,1%) y, especialmente, las aguas subterráneas (el 69,8%). El lavado de los campos con la lluvia y el riego arrastra las sustancias contaminantes (nitratos, plaguicidas) por escorrentía e infiltración hacia los sistemas acuáticos.

Las zonas más afectadas en lo que respecta a las aguas superficiales y especialmente a las subterráneas son las que tienen una mayor carga ganadera y superficie de regadíos y agricultura intensiva.

- ¿Causan alteraciones ambientales las aguas residuales urbanas?

Uno de los agentes contaminantes más habituales del litoral mediterráneo son los vertidos de aguas residuales urbanas procedentes de decenas de municipios y urbanizaciones situadas en la costa. En muchos casos estas aglomeraciones urbanas disponen de un tratamiento de aguas insuficiente debido a que sus sistemas han quedado obsoletos o porque se ven superados en la época estival, cuando el turismo multiplica la población para la que fueron diseñadas las plantas depuradoras. Un ejemplo de esta situación se encuentra en la costa norte de Castellón. Aquí, importantes municipios como Vinaròs, Benicarló, Peñíscola y Alcossebre, con cerca de 128.000 habitantes equivalentes, sólo disponen de un sistema de pretratamiento de sus aguas residuales. Este proceso muchas veces no sirve para eliminar las sustancias químicas y contaminantes presentes en las aguas residuales. Entre las sustancias más peligrosas que se vierten al mar desde Benicarló hay que destacar: benceno, tolueno y xileno, hexaclorobenceno y hexaclorociclohexano, metales pesados como cadmio, cromo, mercurio, cobre, plomo y zinc (96,87 kg/año), fenoles (38,8 kg/año), dicloroetano y diclorometano (12,42kg/año), cloro y sus derivados (791,52 kg/año)XCV, además de ingentes cantidades de nutrientes y materia orgánica en forma de carbono orgánico total, nitrógeno y fósforo (casi 52 toneladas/año) que se suman a los aportes procedentes de los vertidos de aguas residuales urbanas (Greenpeace, 2008).

A. Descontaminación del agua.

La mayoría de estos contaminantes son eliminados de la actividad humana utilizando el agua como vehículo constituyendo las aguas residuales de las distintas actividades. Todas estas sustancias contaminantes, y a efectos de tratamiento de aguas residuales (tratamiento biológico convencional), pueden catalogarse en dos grandes grupos (Marcos, F., 2000):

a) Sustancias biodegradables. - Que son las constituidas por sustancias orgánicas, que se oxidan mediante la acción de determinados microorganismos (biodegradación) obteniendo como productos finales, los elementos componentes de la molécula en su grado máximo de oxidación, y que por esto se denominan sustancias biodegradables.

b) Sustancias biorresistentes. - Que son las constituidas por sustancias inorgánicas, y por algunas orgánicas, que no pueden ser atacadas por ningún microorganismo, y que por tanto permanecen en el medio ambiente.

Las aguas residuales procedentes de las actividades domésticas están constituidas por una mayoría de sustancias biodegradables, es decir, se pueden tratar y depurar por los medios tradicionales en estaciones de depuradoras de aguas residuales convencionales (EDAR). El 12 de Julio de 2010 se formalizó la contratación de la UTE DEGREMONT – TECVASA por parte de la Entidad de

Saneamiento de Aguas (EPSAR) del “Servicio de funcionamiento y Mantenimiento del Sistema de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales de Vinaròs (Castellón)”.

El Término Municipal de Vinaròs tiene, en la actualidad, una población cercana a los 25.000 habitantes, y el caudal a tratar oscila entre los 7.000 m³ del mes de agosto a los 5.000 en temporada invernal. Las infraestructuras que componen el presente servicio incluyen 13 pozos de bombeo repartidos por todo el municipio, una antigua instalación de pretratamiento (EPAR) que ahora funciona como bombeo principal y como emisario en caso de fuertes lluvias y la Estación Depuradora, construida en 2008. La Estación Depuradora se ha diseñado para trabajar en régimen de aireación prolongada y se compone de las siguientes líneas: pretratamiento, tratamiento biológico con eliminación nitrógeno y fósforo, decantación, desinfección del agua por cloración, acondicionamiento de fango con polielectrolito, deshidratación por centrífugas y desodorización por vía química. El caudal diario medio diario de la EDAR se aproxima a unos 5 m³/día y la reducción en sólidos en suspensión como en la demanda química y biológica del agua es por encima del 90% (Fig. 1, Fig. 2).



Fig. 1 Vista del reactor biológico de la EDAR de Vinaròs. (Fuente: EPSAR Entitat de Sanejament d'Aigües)

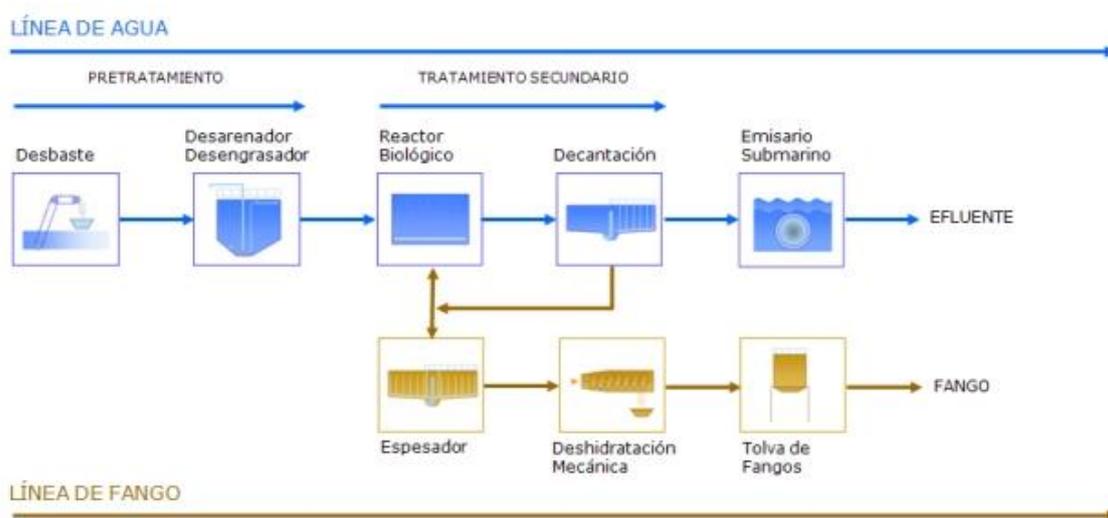


Fig. 2 Esquema de diseño de la EDAR de Vinaròs. (Fuente: EPSAR Entitat de Sanejament d'Aigües)

III. PROGNOSIS DEL AGUA

Un importante recurso hídrico no convencional son las aguas procedentes de la reutilización de aguas residuales. Sin embargo, estos recursos únicamente son empleados para riego 1,7 hm³/año, es decir, el 8,9%, procedentes de las EDAR. Las causas de esta escasa reutilización son diversas pero la más importante es la ineficiencia de la depuración, en especial la calidad química de las aguas residuales tratadas. Como ya es conocido, el tratamiento biológico es el más ampliamente utilizado para la depuración de aguas residuales. No obstante, existen contaminantes recalcitrantes, no biodegradables y/o tóxicos para los cuales este tipo de tratamientos no es utilizable. Éste es el caso también de los conocidos como compuestos orgánicos persistentes (POPs). Entre estos últimos cabría citar los bifenilos policlorados, dibenzofuranos policlorados, otros compuestos clorados, desinfectantes, pesticidas, dioxinas, etc. Éstos son los más estudiados, ya que muchos de ellos son persistentes, bioacumulables y tóxicos. Como resultado de su naturaleza hidrofílica, pueden ser transportados y biomagnificados a través de la cadena alimentaria en los organismos. Estos compuestos presentan un efecto sinérgico y mezclas de ellos suelen ser mucho más tóxicos que los compuestos individuales, particularmente en las aguas subterráneas. Cabe añadir también que, en los últimos años, se ha detectado la presencia en las aguas de otros tipos de contaminantes, que hoy llamamos contaminantes emergentes (CE). También se les conoce con la acepción anglosajona *micropollutants*, dado que de momento se hallan en concentraciones muy bajas. Entre ellos cabe citar algunos disruptores endocrinos, productos farmacéuticos y productos de cuidado e higiene personales (PPCPs). Aunque, como ya se ha dicho, de momento se hallen en concentraciones muy pequeñas (del orden de ng/L), el creciente y continuo aumento en su consumo y utilización hace pensar que pueden llegar a representar un problema grave en un futuro no muy lejano (Malato, S., 2009) – (Fig. 3).

Aplicación	Compuesto	GW1	GW2	GW3	GW4	GW5	GW6	GW7	GW8
Regulador de lípidos	Bezafibrato	5,4	8,1	7,	4,4	4,7	10	7,5	5
	Gemfibrozil	128							
Anticonvulsivos y sedativos	Carbamazepina	9,1							
	Primidona	2,8				7,2	3,8		3,5
Analgésicos y antiinflamatorios	Diclofenato	9,3	3,6	3,1	4,6				
	Phenadona	21							4,2
	Acetaminofen	127	4,8	6,5					
Agente antihipertensivo	Valsarán	47	3,1						
Antibiótico	Sulfametoxazol	4,4	4,1			6,1	3,4		
	Trimetroprima								
Inhibidor recaptación de serotonina	Vanlafaxina	6,4	5,6	1,2					
Droga	Benzoilecgonina	4,4							
Cifras en ng/L									

Fig. 3 Principales contaminantes emergentes analizados en las aguas subterráneas (GW – *ground water*) en diferentes puntos de muestreo de la zona de la Rambleta, situada al NE de la Vall d’Uixó en la Comunidad Valenciana. (Fuente: Morell, I., 2016)

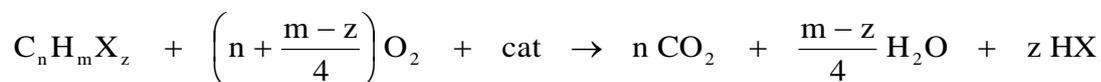
Por otro lado, otras técnicas de tratamiento de contaminantes comúnmente utilizadas como filtración, adsorción, sedimentación, floculación, etc. no implican la destrucción del contaminante sino

sólo de su paso de un medio a otro. Así mismo, es posible que algunos contaminantes, en el tratamiento biológico, no sean destruidos, sino que simplemente queden adsorbidos en los fangos. Por tanto, luego habrá que tratar los fangos, el filtro, el adsorbente o, en general, el medio donde haya quedado retenido el contaminante. Estos procesos de tratamiento del medio adsorbente no son siempre sencillos y, en algunos casos, pueden implicar la generación, a partir del tratamiento de contaminante retenido, de otros contaminantes todavía más tóxicos que el inicial.

Por su parte, La Unión Europea ha establecido un marco comunitario para la protección del agua y su gestión mediante la Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE), la cual promueve, entre otras cosas, la identificación de las aguas europeas y sus características, basadas en las cuencas de los ríos, así como la adopción de planes de gestión y programas de medidas apropiados para cada tipo de agua. Esta directiva identifica los diferentes usos del agua, como son el agua potable, el agua de baño, el agua para piscifactoría, etc., así como su calidad y el tratamiento de las aguas residuales generadas. La Directiva Marco del Agua establece, pues, un marco para acciones de la Comunidad Europea en el campo de la política del agua.

Basadas en esta directiva existen otras regulaciones, como la Decisión 2013/39/UE, la cual establece la lista de sustancias prioritarias en el campo de la política del agua. En esta lista por ejemplo se incluyen los fenoles y derivados del fenol, así como los compuestos clorados no biodegradables, como son los herbicidas y pesticidas.

Por todo ello, se hace necesario utilizar técnicas alternativas que permitan realmente la degradación y destrucción del contaminante y, en definitiva y en el caso de orgánicos, su mineralización. Ahí es donde entran los procesos de oxidación avanzada que podrían definirse como procesos químicos que conllevan la oxidación de muchos compuestos orgánicos, mediante la presencia de especies altamente oxidantes, normalmente radicales hidroxilo ($\cdot\text{OH}$). En definitiva, la mineralización completa, que es lo que se pretende mediante los procesos de oxidación avanzada (POAs), podría representarse mediante la siguiente ecuación:



El catalizador (cat) puede ser: H_2O_2 , O_3 , Fe^{2+} , UV, semiconductor, energía, etc. Como se observa en la ecuación, mediante la aplicación de los procesos de oxidación avanzada es posible mineralizar completamente los contaminantes orgánicos descomponiéndolos en dióxido de carbono, agua y, en el caso de los halogenados, se produciría además el haluro correspondiente.

A. Procesos de oxidación avanzada. (Parson S., 2004)

Los procesos de oxidación avanzada funcionan a través del radical hidroxilo ($\text{OH}\cdot$). Estos radicales presentan una serie de características que resaltan todavía más su elevado poder oxidante. La capacidad de los radicales hidroxilo para llevar a cabo estos procesos de degradación o de mineralización de los contaminantes se basa en su elevado potencial de oxidación: $E_0=2.80\text{ V}$, lo cual le convierte en un buen oxidante (Oppenländer T., 2003).

Existen diversas formas de generar los radicales hidroxilo y otras especies oxidantes. En función de ello, se podrían tener algunas clasificaciones de las AOPs, tal como se indica en la Tabla 1.

Estas clasificaciones a título de ejemplo, pero, obviamente, pueden clasificarse también de otras formas (Tabla 2). En cualquier caso, lo que interesa es conocer cómo funciona cada uno de los procesos, saber a través de qué mecanismos transcurre y cuáles son sus posibles aplicaciones. Estos radicales pueden generarse a través de diversos procesos, en muchos de los cuales la luz juega un papel importante (Braun M.A., 1991).

AOP	Reacción inicial generación $\cdot OH$	Longitud de onda
H ₂ O ₂ /UV	$H_2O_2 + hv \longrightarrow 2 \cdot OH$	$\lambda < 300\text{nm}$
O ₃ /UV	$O_3 + hv \longrightarrow O_2 + O(^1D)$ $O(^1D) + H_2O \longrightarrow 2 \cdot OH$	$\lambda < 310\text{nm}$
H ₂ O ₂ /O ₃ /UV	$O_3 + H_2O_2 + hv \longrightarrow 2O_2 + \cdot OH + H_2O\cdot$	$\lambda < 310\text{nm}$
TiO ₂ /UV	$TiO_2 + hv \longrightarrow TiO_2(e^- + h^+)$ $TiO_2(h^+) + OH_{ad}^- \longrightarrow TiO_2 + \cdot OH_{ad}$	$\lambda < 390\text{nm}$
Foto-Fenton	$Fe^{2+} + H_2O_2 \longrightarrow Fe^{3+} + \cdot OH + OH^-$	$\lambda < 420\text{nm}$

Tabla 1. Clasificación de las AOPs teniendo en cuenta las reacciones fotoquímicas involucradas en la generación de los radicales hidroxilos (Blanco, J., 2007)

De ahí la necesidad de conocer el papel que la luz puede jugar en la eficacia de los POAs y que está relacionada con la capacidad que tienen los procesos fotocatalíticos de degradar gran cantidad de compuestos. Los procesos de degradación y los tipos de contaminantes a degradar estarán relacionados con las propiedades del contaminante y también con las características de la radiación utilizada. Entre otras cosas, la longitud de onda de la radiación define la energía asociada a ésta y, por tanto, su capacidad para romper determinados tipos de enlaces (Fig. 4). Uno de los problemas asociados a la utilización de la luz en problemas de descontaminación es el de su elevado coste cuando se tiene que utilizar luz artificial. De ahí que se esté trabajando muchísimo en la posibilidad de la utilización de luz solar para llevar a cabo procesos fotocatalíticos. Como es sabido, la radiación solar es limpia, *inagotable* y barata. Por otra parte, es una fuente inmensa de energía (Blanco J., 2003).

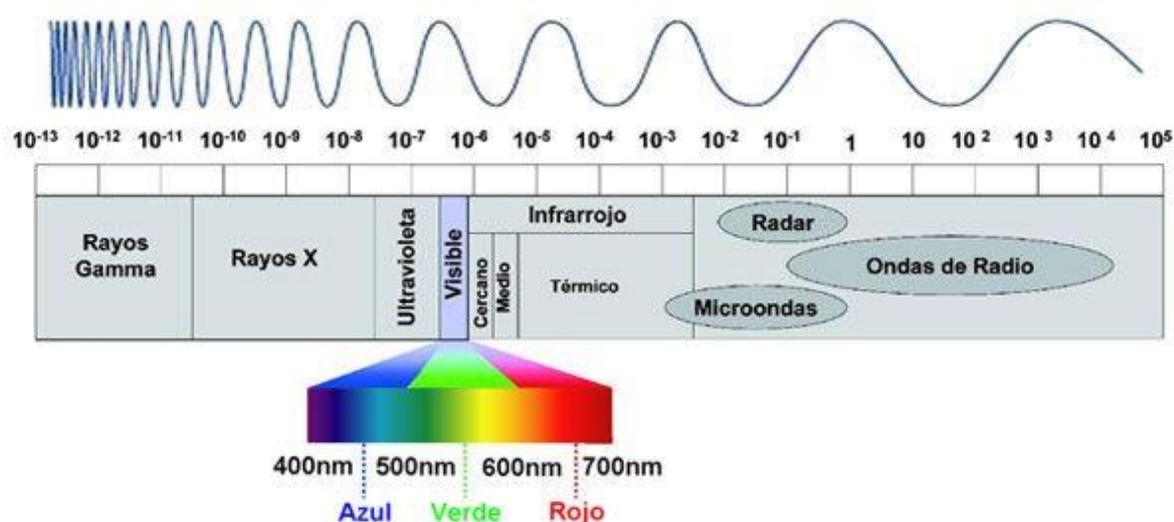


Fig. 4 Longitudes de onda correspondientes a las distintas bandas del espectro de radiación

El Sol se descompone a una velocidad de 106 Tn/s, produciendo 3,9.1026 W. De los 3,9.1026 W que produce el Sol, la Tierra recibe 1,7.1014 kW, lo cual equivale a 1,5.1018 kW.h/año, que a su vez representa 28000 veces la potencia consumida cada año. Si se tiene en cuenta la energía que llega a las capas altas de la atmósfera, el 30% es reflejado por la atmósfera, el 47% calienta la atmósfera y la superficie terrestre, el 23% provoca la evaporación agua y sólo el 0,03 % es utilizable en procesos fotoquímicos (fotosíntesis, etc.). Estamos, pues, ante un gran potencial energético que habría que saber aprovechar convenientemente. También hay que decir que, en algunos POAs, la radiación aprovechable es la ultravioleta (UV) y esta solo representa el 4% del espectro solar.

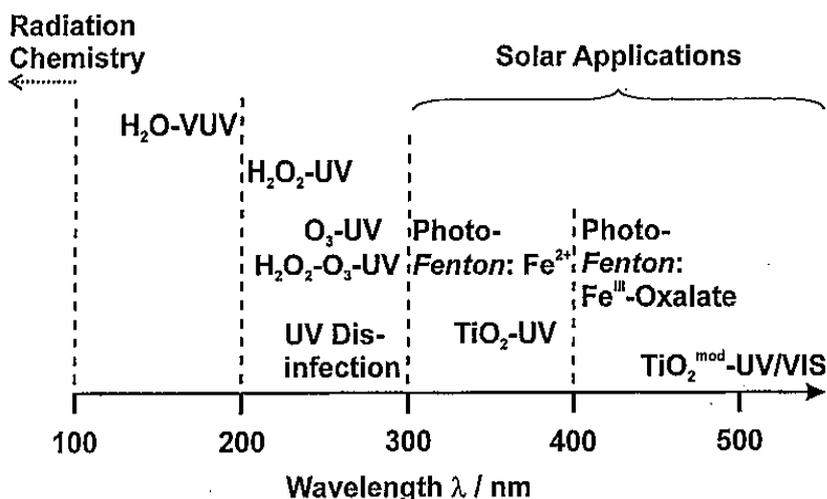


Fig. 5 Rango de aplicación de algunos POAs en función del espectro de radiación

Fotólisis	Fotólisis UV
	Fotólisis VUV
AOPs basadas en O₃	Ozonización en condiciones alcalinas
	O ₃ + UV y/o H ₂ O ₂
	O ₃ + catalizador (O ₃ + H ₂ O ₂ ; O ₃ + Fe ²⁺ /Fe ³⁺)
AOPs basadas en H₂O₂	Fenton (H ₂ O ₂ + Fe ²⁺ /Fe ³⁺)
	Como Fenton (H ₂ O ₂ + Fe ²⁺ -solid/Fe ³⁺ -solid)
	Photo-Fenton (H ₂ O ₂ + Fe ²⁺ /Fe ³⁺ + UV)
	H ₂ O ₂ /UV
	Electro-Fenton
AOPs con calor	Oxidación húmeda supercrítica
	Oxidación húmeda
	Oxidación húmeda con peróxido
Fotocatálisis (TiO₂ + UV)	
Tecnologías de ultrasonido	
Oxidación electro-química	
Oxidación por haz de electrones	

Tabla 2. Clasificación de las AOPs teniendo en cuenta la fuente de generación de las especies oxidantes

Mediante las AOPs es posible la degradación del contaminante en cuestión, pero también permite incidir sobre otros parámetros como TOC, DBO, DQO y toxicidad. Estos parámetros sirven para indicar también si se ha producido no sólo la degradación del contaminante principal sino también la de posibles intermedios de reacción.

Ante un problema de tratamiento de posibles contaminantes y para elegir la mejor técnica posible, hay que considerar a la vez varias cuestiones. Entre ellas, cabe citar: tipo de contaminante a tratar, concentración en la que se encuentra, caudal a tratar, etc.

Todo ello convierte a las POAs en técnicas muy potentes para el tratamiento de contaminantes.

No obstante, hoy en día, el tratamiento biológico sigue siendo el más económico y el más ampliamente utilizado. Los POAs, de momento, pueden utilizarse como vía alternativa o complementaria. Por ejemplo, en el caso de contaminantes recalcitrantes, no biodegradables y/o tóxicos para los cuales el tratamiento biológico no es utilizable. Por otro lado, otras técnicas de tratamiento de contaminantes comúnmente utilizadas como filtración, adsorción, sedimentación, floculación, etc. no implican la destrucción del contaminante sino sólo de su paso de un medio a otro. Así mismo, es posible que algunos contaminantes, en el tratamiento biológico, no sean destruidos, sino que simplemente queden adsorbidos en los fangos. Por tanto, luego habrá que tratar los fangos, el filtro, el adsorbente o, en general, el medio donde haya quedado retenido el contaminante (Klavarioti M., 2009). En todos estos casos, podrían entrar en juego los POAs. Su utilización como etapa de pretratamiento para el aumento de la biodegradabilidad de las aguas residuales que contienen compuestos recalcitrantes puede ser rusticada si los productos intermedios resultantes son fácilmente degradados por microorganismos en un tratamiento biológico. Por lo tanto, la combinación de una AOP, como tratamiento preliminar, con un proceso biológico, resulta muy prometedora desde el punto de vista económico. Como resultado se obtienen aguas de mayor calidad válidas para su reutilización según su calidad.

IV. CONCLUSIONES

Los procesos de oxidación avanzada se presentan como una buena alternativa de tratamientos de las aguas residuales, útiles para su reutilización en un gran abanico de usos. La contaminación acuosa varía en función de la calidad de vida y la actividad humana por lo que los tratamientos tradicionales de las estaciones depuradoras han de renovarse y/o ajustarse a estos nuevos cambios. A partir de estos procesos se pueden eliminar un gran número de compuestos oxidables tanto biodegradables, como recalcitrantes, orgánicos o inorgánicos. Parece presentarse como una técnica prometedora para la obtención de agua de calidad. El gran inconveniente es el coste energético asociado a estas técnicas, por lo que se ha de estudiar el uso de las energías renovables como fuente de luz.

V. AGRADECIMIENTOS

Al programa de divulgación de ciencia y tecnología *ciènciaprop*[®] y al Grupo de Procesos de Oxidación Avanzada de la Universidad de Barcelona.

VI. REFERENCIAS

- [1]. Morell I., 2016, 1^º Jornada Técnica sobre Castellón de Recursos Hídricos: Las aguas subterráneas de Castellón.
- [2]. Greenpeace, 2005, La calidad de las aguas en España. Un estudio por cuencas, <http://archivo-es.greenpeace.org>, consultada : 01/08/2019.
- [3]. Greenpeace, 2008, Destrucción de la costa: Comunidad Valenciana, <http://archivo-es.greenpeace.org>, consultada: 01/08/2019.
- [4]. Agència Catalana de l'Aigua, 2008, El Agua en Cataluña, <https://aca-web.gencat.cat>, consultada: 01/05/2019.

- [5]. EPSAR Entitat de Sanejament d'Aigües, Generalitat Valenciana, <http://www.epsar.gva.es/instalaciones/edar.aspx?id=1724>, consultada: 01/08/2019.
- [6]. Marcos, F., 2000, FACSA, La gestión de las aguas residuales en los municipios pequeños de la provincia de Castellón, <http://www.ces.gva.es>, consultada: 01/08/2019.
- [7]. Blanco J., Malato S., 2003, Solar Detoxification, UNESCO.
- [8]. Blanco J., Fernández P., Malato S., 2007, Journal of Solar Energy Engineering.
- [9]. Malato S., Fernández P., Maldonado M.I., Blanco J. y Gernjak W., 2009, Catalysis Today.
- [10]. Klavarioti M., Mantzavinos D. y Kassinos D., 2009, Environment International.
- [11]. Braun A.M., Maurette M.T. y Oliveros E., 1991, Photochemical Technology.
- [12]. Oppenländer T., 2003, Photochemical purification of water and air. Advanced Oxidation Processes (AOPs): principles, reaction mechanisms, reactor concepts.
- [13]. Parsons S., ed., 2004, Advanced Oxidation Processes for water and wastewater treatment.

VII. AUTOR



MARÍA PILAR MARCO nació en Barcelona en 1970. Profesora Agregada del Departamento de Ingeniería Química y Química Analítica, sección Ingeniería Química desde 2017.

Se licenció en Ciencias Químicas en Barcelona en 1994. Obtuvo el doctorado en Ciencias Químicas en Barcelona en 2002. Fue becario de la Fundación Bosch i Gimpera durante 6 años, y profesora ayudante en la Universidad de Barcelona desde 1999. Miembro del Grupo de Procesos de Oxidación de Barcelona y Coordinadora del Máster en Ingeniería Ambiental de la Universidad de Barcelona.

Ha dirigido numerosos trabajos de grado y de Máster en los estudios de Ingeniería Química, Ciencias Ambientales y Química. Directora de diferentes tesis doctorales, ha publicado numerosos artículos en revistas de alto impacto y participado en congresos de ámbito internacional, preferentemente en los temas de procesos de oxidación avanzada como

sistemas de tratamientos no convencionales de las aguas residuales. Colaboradora de diferentes proyectos con otras Universidades tanto a nivel estatal como internacional. Actualmente desempeña su labor docente e investigadora en el ámbito de la Seguridad Industrial y Medio Ambiente colaborando con diferentes empresas y entidades como Seguridad y Medio Ambiente TEMA S.A., la Agència Catalana de Residus, Sostenipra y, Lavola, entre otras.