

*Doctor Honoris Causa*

DAMIÀ BARCELÓ CULLERÈS

Discurso del  
Acto de Investidura



UNIVERSIDAD  
DE ALMERÍA



DISCURSO CON MOTIVO DE LA  
INVESTIDURA COMO  
DOCTOR *HONORIS CAUSA*  
POR LA UNIVERSIDAD DE ALMERÍA DE  
D. DAMIÀ BARCELÓ CULLERÈS

---

---

Almería, 6 de mayo de 2022

Señor Rector Magnífico de la Universidad de Almería  
Autoridades Académicas, Profesores, Doctores e Investigadores  
Señoras y Señores



Quiero empezar estas palabras agradeciendo la distinción que se me otorga a su rector y al claustro universitario del 20 de octubre de 2020 que me concedió este honor. Lo recibo con una gran alegría y agradecimiento viniendo como viene de una Universidad con la que me unen desde hace mucho tiempo fuertes vínculos profesionales y personales. Mi agradecimiento en especial para el Prof. Amadeo R. Fernández-Alba, del Departamento de física y Química de esta universidad, por haber aceptado de realizar el Laudatio en este acto así como por ser el responsable de mis primeros contactos con la Universidad de Almería que se remontan al 1992, hace de ello ya 30 años. Desde entonces mi contacto con la Universidad de Almería ha sido continuo y de ello voy a hablar brevemente en una de las partes de este discurso.

Este discurso lo he estructurado en cinco bloques diferentes: El inicio en el acoplamiento de la espectrometría de masas con la cromatografía de líquidos como técnica analítica, los estudios de los contaminantes emergentes en aguas naturales y residuales, los tratamientos de las aguas residuales y su reutilización, la colaboración científica con la Universidad de Almería y la parte final centrada en los estudios de epidemiología de aguas residuales.

#### **EL INICIO EN LA COMBINACIÓN DE LA ESPECTROMETRÍA DE MASAS CON LA CROMATOLOGRAFÍA LIQUIDA**

Este período inicial de mi carrera científica comprende los años 1984 a 1986. Se inicia el año 1984, cuando finalicé mi doctorado en la Universidad de Barcelona y se extiende durante los años 1985-1986, período que estuve como estudiante post-doctoral en la *Vrije Universiteit* (VU) de Amsterdam aprendiendo esta nueva técnica de acoplamiento entre la cromatografía líquida y la espectrometría de masas (LC-MS). En estos años se iniciaba la realización de este tipo de acoplamientos y se estaban desarrollando en diferentes laboratorios de Europa, USA y Japón. Tuve la suerte de poder trabajar con los Prof. Roland W Frei y Udo A.Th Brinkman, pioneros en Europa en este tipo de acoplamientos con una de las primeras interfaces diseñadas en la propia VU de Ámsterdam, la interfase denominada de introducción directa o *Direct Liquid Introduction* (DLI) (1). Más tarde esta

técnica maduró considerablemente, siendo la interfase conocida como *electrospray* la que se impuso y que motivó que se concediera el premio Nobel de Química a John Fenn en el año 2002.

En mi presentación mostraré algunos ejemplos de los primeros trabajos realizados en mi estancia post-doctoral con esta técnica y que en los últimos años se ha ido desarrollando de manera espectacular. Así mientras en el año 1986 la detección instrumental en LC-MS era de 1.5 nanogramos en el 2022 se detectan 0.54 fentogramos, lo que representa una sensibilidad superior de un millón de veces después de 36 años. Además, ahora se dispone de equipos de alta resolución en cromatografía líquida-espectrometría de masas, que era impensable en los inicios puesto que solo se han desarrollado plenamente en los últimos 15 años. Quizás ahora la opinión pública piensa que nuestras aguas están más contaminadas que hace años, esto no es rigurosamente cierto en todos los casos, ahora disponemos de equipos muy superiores respecto de los de hace 30 años y podemos identificar más contaminantes químicos y microbiológicos y a niveles de concentración mucho menores. Hay que tener también en cuenta que en los últimos 30 años se han realizado mejoras relevantes en la depuración de las aguas residuales, vertiéndose aguas con mayor tratamiento al medio receptor y por tanto con mucha menor carga contaminante. En resumen, si ahora identificamos más contaminantes es debido a las mejoras tecnológicas ya que disponemos de una instrumentación muy superior, robusta y fiable.

#### **CONTAMINANTES EMERGENTES EN AGUAS NATURALES Y RESIDUALES**

La última década del siglo 20 se caracterizó por un gran impulso en el saneamiento de las aguas residuales. Muchas depuradoras pasaron del tratamiento primario al secundario y algunas incluso a terciario y mejoraron sensiblemente la calidad de las aguas de nuestros ríos así como de los vertidos al mar y a nuestras costas. La Directiva 91/271 del año 1991 supuso un gran impulso a la inversión y mejora en depuración de las aguas residuales en todo el territorio de la Unión Europea. En esta línea y para incentivar este tipo de investigación la Unión Europea creó el *Waste Water Cluster* (WWC) entre los años 1997-2001, del cual fui coordinador, y que tenía como objetivo proporcionar herramientas para la identificación, destino y evaluación del riesgo de los contaminantes emergentes presentes en aguas residuales y en el medio receptor.

En este sentido conviene señalar el trabajo pionero de John Sumpter de la Universidad de Brunel en Londres, Reino Unido, publicado en 1998 donde relacionaba la contaminación por compuestos estrogénicos presentes en las depuradoras de aguas residuales con efectos toxicológicos nocivos observados en peces como los ciprínidos hasta llegar al cambio sexo y malformaciones fisiológicas. Poco después de publicarse este trabajo nosotros publicamos el primero en España sobre este mismo tema en el año 2000, relacionando los vertidos de las empresas de curtidos en el río Anoia, afluente del Llobregat, con el evidente riesgo para las carpas. Así, aguas abajo de la depuradora de aguas residuales (EDAR) de Igualada se observaron malformaciones en las carpas y además 7

ejemplares de 150 examinados se habían feminizado por la exposición a contaminantes de la familia del nonilfenol, provenientes de la degradación de detergentes utilizados en la limpieza de la pieles de las fábricas de curtidos de esta zona(2).

La ciencia progresa de manera continua y durante más de 20 años hemos trabajado en gran cantidad de proyectos para la caracterización y evaluación del riesgo ambiental de los efluentes de las diferentes EDAR. Como muestra de los avances de la ciencia en estos estudios quiero señalar aquí el último trabajo, recientemente publicado, sobre la utilización de nuevas herramientas aplicadas a mejorar la caracterización y a entender el funcionamiento de las EDAR. En este artículo (3) se combina la determinación química por espectrometría de masas, con la quimiometría y la de metagenómica aplicándose a la caracterización del influente, el efluente del tratamiento secundario o aeróbico y el del terciario o anaeróbico de diferentes EDAR de Cataluña. Así mediante estas nuevas técnicas hemos podido caracterizar los microorganismos asociados al proceso de depuración en presencia de polímeros, así como la gran cantidad de los compuestos químicos presentes y sus productos de degradación. La utilización del análisis de 16S rDNA mediante secuenciación ha permitido diferenciar las bacterias asociadas a los diferentes procesos de degradación de los polímeros e identificar los microorganismos responsables de su degradación permitiendo así evaluar mejor su impacto en el medio receptor (entendiendo por tal las aguas superficiales y la subterráneas) y en especial a la biodiversidad.

Las aguas superficiales reciben los impactos derivados de las fuentes de origen puntual, los vertidos de las EDAR, entre otros, mientras que la subterráneas reciben el impacto derivado de las fuentes contaminación difusa, por cuyo motivo resultan imprescindibles tanto la planificación como la realización de estudios de vigilancia y control.

Estos estudios del destino y efectos de los contaminantes emergentes en aguas continentales han sido constantes a lo largo de estos años tanto en mi grupo del IDAEA-CSIC así como en el del ICRA-CERCA realizados en el marco de los proyectos SCARCE, financiado por el programa *Consolider* del gobierno de España y GLOBAQUA en este caso financiado por la Unión Europea. Estos proyectos se centraron en un elemento diferenciador del sur de Europa: la escasez de agua siendo el principal efecto de estrés en nuestros ríos además de la contaminación. El eje central de estos proyectos fue la escasez de agua que, junto al efecto del cambio climático, está provocando un aumento de los denominados ríos intermitentes, típico del clima mediterráneo y de Australia entre otras zonas del planeta (4). La escasez de agua se combinó con los efectos estresantes causados por los contaminantes emergentes y la hidromorfología de los ríos y de como éstos afectan a la biota en general y en especial al biofilm, macro-invertebrados y peces.

Los proyectos SCARCE y GLOBAQUA se llevaron a cabo entre el 2009 al 2017 realizándose estudios integrados de vigilancia química, efectos ecológicos y eco-toxicológicos y de hidromorfología en diferentes cuencas hidrográficas de España y Europa: Guadalquivir, Júcar, Ebro, Llobregat, Adige, Sava y Evrotas. Se realizaron una gran cantidad de estudios de campo y campañas de vigilancia coordinadas entre los diferentes labora-

torios con experiencia en análisis químico, en ecología, ecotoxicología y hidromorfología de diferentes investigadores reconocidos en estas áreas de investigación como Sergi Sabater, Ramon Batalla, Julián Blasco y Yolanda Picó entre otros. Además, se llevaron a cabo en estudios de laboratorio en las instalaciones de ríos artificiales del ICRA-CERCA para determinar los efectos de diferentes elementos de estrés como la desecación de los canales, imitando de esta manera a los ríos intermitentes, así como el impacto de diferentes grupos de contaminantes como fármacos en la evolución del metaboloma del biofilm. (5-7).

En esta presentación se muestran algunos ejemplos de los trabajos realizados indicando la de toxicidad de los más de 200 compuestos químicos de diferentes familias estudiados en España, las especies de peces analizadas donde se determinaron los niveles de bioacumulación de contaminantes emergentes como fármacos, compuestos perfluorados o retardantes de llama. Hay que añadir que la experiencia en estos estudios facilitó la colaboración científica con organismos internacionales de prestigio como la Agencia Medioambiental Americana, US EPA, determinándose los niveles de fármacos en 25 especies de peces de diferentes ríos de Estados Unidos con el equipo del ICRA-CERCA liderado por Sara Rodríguez-Mozaz y Belinda Huerta (8).

Tampoco quiero dejar de lado las aguas subterráneas, eternas olvidadas, celebrándose además este año, el pasado 22 de marzo, día mundial del agua que se ha dedicado a su estudio. En este sentido quiero indicar que realizamos numerosos estudios en colaboración con el grupo de aguas subterráneas del IDAEA-CSIC liderado por Jesús Carrera y Enric Vázquez como por ejemplo la determinación de un amplio espectro de contaminantes emergentes tales como detergentes, drogas, productos de uso personal en los pozos de la ciudad Barcelona fruto de las pérdidas de la red de saneamiento (9). Debo recalcar que los problemas de contaminación de las aguas subterráneas, frecuentemente olvidadas, son iguales o peores que los de las aguas superficiales y por tanto no se pueden olvidar. Esta universidad le ha dado la importancia que merecen tanto a las aguas subterráneas como a la hidrología en el grado de ciencias ambientales.

### **TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES Y SU REUTILIZACIÓN**

Hay diferentes opciones para mejorar la calidad de las aguas continentales y todas ellas tienen que actuar de manera conjunta. Una de ellas es trabajar en la prevención, es decir, verter menos al medio, en pocas palabras contaminar menos, ya sea disminuyendo el consumo de productos químicos o utilizar productos biodegradables, y la otra opción es incrementar el tratamiento de las EDAR ya sea optimizando los tratamientos convencionales de lodos activados (CAS) o secundarios y además añadir tratamientos terciarios, o adicionales avanzados. En la actualidad se dispone de una gran variedad de tratamientos avanzados que permiten mejorar la depuración de las aguas residuales eliminando tanto los contaminantes orgánicos como los patógenos posibilitando así su reutilización. Este tipo de tratamientos avanzados incluye entre otros oxidación avanzada, nanofiltración,

osmosis inversa, carbón activo, tratamientos más suaves y eco como son las algas, hongos y los humedales artificiales, entre otros. Muchos de estos tratamientos posibilitarán su reutilización en la agricultura o para recarga de acuíferos entre otras aplicaciones. Es conocido que la reutilización de las aguas residuales tratadas o aguas regeneradas es cada vez más importante, sobre todo en un escenario de escasez de agua y cambio climático del que hemos hablado hace un momento.

La reciente publicación por parte del Parlamento de la Unión Europea 2020/741 del 25 de mayo de 2020 sobre los requisitos mínimos para la reutilización del agua regenerada para su uso agrícola darán un gran impulso a la reutilización en Europa. Estas nuevas normas está previsto que entren en vigor en junio del 2023 y han de ser un estímulo para la reutilización en todo el territorio de la UE.

En este sentido voy a mostrar ejemplos de colaboración desde el ICRA-CERCA con Sara Rodríguez-Mozaz, Lucía M Santos y Adrian Jaén-Gil como investigadores principales con diferentes grupos de ingeniería química de la universidad autónoma de Barcelona, de la universidad Politécnica de Catalunya, de la universidad Rey Juan Carlos y del tecnológico de Monterrey liderados por Teresa Vicent, Montserrat Garfí, Javier Marugán y Roberto Parra-Saldívar, respectivamente, utilizando diferentes tipos de tratamientos, como por ejemplo con algas (10-12) para la eliminación de diferentes grupos de fármacos, mientras que para abordar el problema de la eliminación de los genes de resistencia de antibióticos se han empleado técnicas de oxidación avanzada como la de la EDAR de Toledo (13).

Después de los diferentes tratamientos del agua residual, me voy a referir a los usos de esta agua residual tratada, es decir del agua regenerada. Como ejemplo práctico en condiciones de extrema sequía quiero detallar la experiencia en los estudios de reutilización llevados a cabo en los últimos años en Arabia Saudí donde estudiamos, junto con Yolanda Picó y su grupo de la Universidad de Valencia, el uso de las aguas regeneradas para el riego de cultivos agrícolas y a de las plantas naturales así como la capacidad que tiene las plantas y el suelo de absorber y asimilar estos contaminantes en las raíces y hojas (14,15). Estos estudios se llevan a cabo con el agua regenerada de la depuradora de Riad. Hay que señalar que Arabia Saudí no tiene ríos y que la mayoría del agua utilizada para riego agrícola y de plantas ornamentales y naturales es agua regenerada de la depuradora de Riad, población de unos 7.7 millones de habitantes. A estas aguas regeneradas de la depuradora de Riad se le denomina el río de Riad. Este país ha apostado, como Israel, abastecer con agua regenerada su inmenso desierto e ir ganando terreno, fomentando grandes extensiones de diferentes tipos de cultivos. Uno de los temas relevantes a considerar en el riego agrícola con aguas regeneradas es estudiar si un determinado cultivo agrícola es capaz de absorber contaminantes y en que partes, si en las raíces, las hojas o en el propio fruto. En los diferentes estudios realizados se detectaron concentraciones débiles de algunos fármacos de gran uso como carbamazepina, atenolol e ibuprofeno así como de cafeína en muestras de repollos regados con estas aguas. Hay que señalar

que los niveles de fármacos presentes en las aguas regeneradas y detectados fueron muy bajos y no representan ningún riesgo para el consumo humano. En las mismas muestras también se identificaron plaguicidas utilizados en las diferentes prácticas agrícolas como el imacloprid o el malation a unos niveles más elevados y que sí pueden representar un riesgo para el consumo si no se toman las debidas precauciones de tiempo de carencia y lavado previo. Como mensaje final parece obvio que los tratamientos adicionales de la EDAR son muy necesarios, especialmente para la reutilización del agua residual y es conveniente en todo caso realizar un seguimiento tanto a nivel químico como microbiológico de los diferentes procesos de tratamiento.

### **COLABORACIÓN CIENTÍFICA CON LA UNIVERSIDAD DE ALMERÍA 1992-2022**

Como he comentado al principio de este discurso mi colaboración con el grupo del Prof. Amadeo R. Fernández-Alba se remonta a 1992, o sea ahora hace 30 años, por lo que voy a citar algunos de los trabajos que hemos realizado conjuntamente, que como observarán, son muy relevantes. Voy a empezar mencionando precisamente el último trabajo conjunto, que recientemente se ha publicado. Es un estudio que enlaza y es continuación lógica del apartado anterior y se refiere a la reutilización de aguas regeneradas para agricultura, concretamente a la determinación de los niveles y del posible riesgo para la salud humana de los residuos de 30 contaminantes emergentes de diferentes grupos químicos presentes en estas aguas para riego en agricultura y su posible absorción en los tomates (16). La conclusión de este estudio se puede sintetizar en que un adulto tendría que consumir más de 100 kilos de tomates al día para que tuviese algún efecto en su salud. El segundo trabajo que quiero señalar aquí corresponde a las primeras muestras de plaguicidas polares del grupo de los carbamatos que se detectaron en los pozos de Almería en muestras recogidas en 1992 y analizadas mediante LC-MS con interfase de *thermospray* que fue uno de los primeros equipos adquiridos por CSIC antes de 1990 y también con la técnica de on-line extracción en fase sólida (SPE) acoplada a cromatografía líquida con detección por UV y detección post-columna con fluorescencia y que se publicó en una de las revistas de más prestigio en el campo medioambiental, *Environmental Science & Technology* en el año 1993 (17). Seguramente corresponde a las primeras determinaciones analíticas realizadas con esta técnica en los pozos de Almería confirmándose la presencia de los plaguicidas butocarboxim, carbarilo y methiocarb. Hay que recordar que este fue un trabajo pionero en su momento y que las técnicas en este momento utilizadas eran las mejores de su época y recordar así mismo que los acoplamientos on-line con SPE los había aprendido en mi época postdoctoral en la VU de Ámsterdam, aplicándose por primera vez en España a muestras ambientales recogidas en Almería.

Otro trabajo que quiero destacar en esta colaboración con la Universidad de Almería es el estudio realizado en una parte de la costa española del impacto de los vertidos de detergentes. En este estudio participaron además del CSIC y la universidad de Almería, la universidad Rovira i Virgili y la universidad de Cádiz siendo un proyecto financiado por

el Gobierno de España (18). Este estudio se publicó en el año 2002 y reveló por primera vez la presencia de determinadas familias de detergentes como los alcohol etoxilados y los derivados de la dietanolamida de coco en estas muestras. Este estudio mostró niveles importantes de nonilfenol, producto de la degradación de detergentes de uso industrial como son los alquilfenoles etoxilados y que se debía a que en el momento de la recogida de las muestras los vertidos a mar de la mayoría de la ciudades españolas entre los años 1999-2000 se efectuaban con un tratamiento insuficiente, generalmente primario. Recordemos en este sentido que en Barcelona en el 2003 se inauguró la depuradora del Prat que mejoró el tratamiento de las aguas residuales. Con este cometario quiera poner de relieve, y enlazando con apartados anteriores de este discurso, que la implementación de la depuración completa de las aguas residuales en el territorio español está llevando, aunque recordemos que la Directiva 91/271 es del año 91.

Quiero concluir este apartado relativo a la colaboración con el grupo de Amadeo de la universidad de Almería refiriéndome a dos trabajos de gran relevancia por su número de citas. El primero de ellos, que firma como primera autora María Dolores Hernando, quien realizó estudios postdoctorales en mi laboratorio y que se publicó en el año 2006, es el trabajo de todo mi *curriculum vitae* que tiene mayor número citas, en concreto 1600 citas según Google Scholar (19). Es un número espectacular y la razón de ello es que fue uno de los primeros estudios en determinar el riesgo ambiental de fármacos en aguas residuales, aguas naturales y sedimentos. El segundo es el trabajo firmado por María José Gómez como primera autora y que también estuvo en mi laboratorio, además de Mira Petrovic del CSIC, publicado así mismo en el 2006 y que corresponde a un método analítico de determinación de 16 fármacos de diferentes grupos químicos en agua mediante LC-MS en tándem y que se aplicó a la determinación de fármacos presentes en efluentes de hospitales (20). Este trabajo ha recibido a fecha de hoy más de 600 citas según google scholar y fue novedoso para su época, ya que la contribución de los residuos de fármacos de origen hospitalario en las redes de saneamiento se empezaba a estudiar a nivel de Europa. Estos dos últimos trabajos nos indican claramente el impacto a nivel mundial que ha tenido esta colaboración científica desarrollada a lo largo de los últimos 30 años entre el CSIC y la Universidad de Almería y por ello quería resaltar estos indicadores que demuestran la amplísima difusión obtenida con el trabajo conjunto e integrador de ambos grupos.

## EPIDEMIOLOGÍA DE AGUAS RESIDUALES Y COVID-19

En los últimos años hemos podido comprobar cómo se han ido revalorizando los estudios de las aguas residuales, que se denominan epidemiología de aguas residuales, WBE, en sus siglas en inglés. Así su caracterización ha permitido determinar la salud global de una población, por ejemplo en lo referente a enfermedades crónicas como la diabetes, por los niveles de fármacos como metformina, o epilepsia por la carbamezapina así como consumo de drogas mediante los niveles detectados de cocaína y su principal metabolito la benzoilecgonina, así como otros biomarcadores que nos indicaran hábitos como el consumo de alcohol o de tabaco. En los estudios de epidemiología de aguas residuales (WBE) se pueden considerar dos tipos de aproximaciones científicas: la de los indicadores químicos, que acabo de mencionar y la de los indicadores microbiológicos.

Voy a referirme primero los indicadores químicos presentes en las aguas residuales. Quiero recordar que a principios del 2008 se publicó la noticia de la presencia de cocaína, benzoilecgonina y otras drogas en la EDAR del Prat de Barcelona. Corresponde a uno de los primeros trabajos de detección de drogas de abuso en las EDAR como parte del WBE y que fue liderado por mis colaboradoras Cristina Postigo y Miren López de Alda del IDAEA-CSIC (21). La red de saneamiento así como las EDARs permiten hacer este tipo de estudios. Un ejemplo mucho más reciente en esta línea de de WBE corresponde a los dos últimos trabajos que estamos realizando con otras moléculas químicas, pero más grandes: proteínas y péptidos. Estos trabajos se realizan en colaboración con Joaquin Abian, Montserrat Carrascal y Antoni Ginebreda y nos permiten hacer el seguimiento de diferentes grupos de proteínas y péptidos en aguas residuales, así como determinar el origen animal o humano de las muestras analizadas (22). Romà Tauler y Carlos Pérez-López incorporaron técnicas quimiométricas avanzadas de curva multi-variable (ROIMCR) en sus siglas en inglés a los estudios de proteómica ambiental permitiendo identificar hasta 523 péptidos que provienen de 38 diferentes proteínas de origen diverso de especies eucariótica, ya sean humanas y de origen animal, y así mismo a diferentes especies de bacterias como *clostridium*, y *streptococcus*(23). Así se ha podido distinguir qué depuradoras reciben más impacto y de qué tipo de actividad, por ejemplo de granjas de cerdos, pollo o vacas, así como de animales domésticos o de las propias personas. Es la línea de investigación conocida como «proteómica ambiental» que dará información adicional de los vertidos en las EDARs. Así por una parte, nos proporcionará una información más precisa de algunas actividades, como la ganadería, y de la población en general y por otra, ha de permitir disponer de información adicional para mejorar el funcionamiento de las EDARs.

Con la pandemia a principios del 2020 nos llegaron más problemas sobre todo para la salud humana el Covid-19. A fecha de hoy los datos son abrumadores: 300 millones de persona infectadas y 5 millones de muertos en todo el mundo. A raíz de este problema global, el mundo científico reaccionó con rapidez y diligencia tanto desde el punto de vista biomédico como ambiental. En este sentido quiero comentar aquí, para terminar

ya este discurso de investidura, que las aguas residuales y la WBE se articularon como un sistema de detección del SARS-CoV-2, complementario al clínico, que permite establecer valores globales de infección de una determinada población, así como tendencias en la evolución del virus. Para paliar los efectos del virus del SARS-CoV-2 se recetaban mayor número de medicamentos, entre ellos antibióticos. Uno de los trabajos realizados en esta época fue con un grupo de india liderado por Manish Kumar en la ciudad de Ahmedabad (India) de unos 8 millones de habitantes. Fue uno de los primeros estudios donde se relacionaron los elevados datos de genes de resistencia de antibióticos en las mismas zonas donde los valores del SARS-CoV-2 en aguas residuales eran los más elevados, es decir que había una relación directa entre personas infectadas con mayores dosis de antibióticos (24). En estos dos últimos años los estudios de WBE se valorizaron y globalizaron utilizando la red de saneamiento para el control del SARS-CoV-2 en aguas residuales. Pero el control microbiológico de las aguas residuales no es nuevo. En este sentido quiero hacer memoria y recordar que ya se llevó a cabo por primera vez en Inglaterra por J.W. Wilson en 1928, estudio publicado en el *British Medical Journal* (25). Este Trabajo pionero demostró que un caso de tifus *B.typhosus*, conocida como salmonella typhosa, se podía detectar en la red de saneamiento de Belfast, marcando el punto de partida de una disciplina conocida ahora como WBE. El año siguiente J D Allan Gray en Edimburgo en el año 1929, demostró exactamente lo mismo detectando la salmonella paratyphosa en la red de saneamiento debida a los vertidos de heces de enfermos de tifus. En relación con esta materia debo recordar que desde hace ya dos años Carlos Borrego y el equipo de microbiólogos del ICRA-CERCA junto con la universidad de Barcelona, Eurecat y con financiación por parte de la Agencia Catalana del Agua (ACA) y el Departamento de Salud de la Generalitat de Catalunya, están colaborando y dando información puntual a los medios de comunicación en la detección SARS-CoV-2 en las aguas residuales de Cataluña. No es el único grupo en España haciendo este tipo de trabajo, en la misma línea se está trabajando en Madrid, Valencia, Murcia y Galicia. Este es un ejemplo claro de fructífera colaboración entre la administración pública y centros de investigación y universidades. Hay que destacar que la WBE permite establecer tendencias en la evolución del virus tanto cuando se aprecia una disminución como un incremento global a través de la detección en las aguas residuales, alertando así a las autoridades sanitarias y complementando los datos clínicos.

Como colofón de este discurso, y recalando que una de las técnicas más relevantes en mi carrera científica fue la LC-MS, podemos preguntarnos qué puede aportar la espectrometría de masas para la detección y vigilancia del SARS-CoV-2 en aguas residuales? En un artículo recientemente publicado con Yolanda Picó de coautora (26) hemos indicado que en este momento la sensibilidad de las técnicas de LC-MS esta muy por debajo de la de PCR, unos 10,000 veces menor. En el caso del LC-MS se miden péptidos específicos de las proteínas principales del SARS-CoV-2: *spike* (S), *envelope* (E), *membrane* (M) y *nucleocapsid* (N), es decir se utiliza la proteómica. Una de las mejoras recientemente

introducidas por Waters ha sido mejorar la limpieza de las muestras de aguas residuales contaminadas con SARS-CoV-2 mediante la utilización de técnicas de immuno limpieza con los anticuerpos de tres de los peptidos más característicos de la proteína N. Con esta preconcentración selectiva se consigue una mejora considerable de la detección al eliminar impurezas de las muestras mejorando, por tanto, la detección, perfilándose como una posible solución analítica al problema de identificar el SARS-CoV-2 en aguas residuales mediante LC-MS. La otra alternativa que se ha discutido en la literatura científica publicándose muchos artículos al respecto es la utilización de biosensores, un tema en el cual estamos colaborando con el grupo de Roberto Parra-Saldivar del tecnológico de Monterrey (27). Esta técnica rápida y barata permite detectar el SARS-CoV-2 en aguas residuales con una gran ventaja: se puede aplicar a países en vías de desarrollo. No olvidemos que la WBE se puede utilizar siempre que haya una red de saneamiento, pero hay que señalar que, globalmente, aún tenemos más de 1 billón de personas que no disponen de red de saneamiento y por tanto no se pueden hacer estudios de WBE. Los biosensores podrían constituir una buena alternativa.

#### **CONCLUSIONES FINALES Y AGRADECIMIENTOS**

En este discurso he realizado un repaso de la mi carrera investigadora así como de las principales etapas en este largo recorrido: desde las importantes mejoras instrumentales en espectrometría de masas, hasta los estudios de vigilancia ambiental, la integración de disciplinas diversas para poder evaluar mejor nuestros ecosistemas acuáticos sometidos a la influencia del cambio climático y cambio global. Esta carrera tiene el espíritu de *Sherlock Holmes* aplicado a la ciencia siempre a la búsqueda de nuevos productos químicos que, quizás estando presentes en el agua, no los podemos detectar o no sabemos si están realmente hasta que no los podemos medir con las técnicas apropiadas o hasta observar su efectos adversos. Los resultados y conclusiones de estas investigaciones son los que alimentarán la legislación ambiental del futuro, una vez se haya demostrado que hay efectos sobre las diferentes especies presentes en el medio. Los estudios realizados en EDARs son muy relevantes y que la información obtenida permite diferentes usos, como por ejemplo el desarrollo de estudios epidemiológicos, ya sean de tipo microbiológico o químico, identificando siempre biomarcadores que nos puedan ayudar a entender mejor los problemas de contaminación global del medio acuático muchas veces asociados a salud o hábitos. Cada vez más, la salud ambiental está relacionada con la salud humana y animal, como sería el caso de los genes de resistencia de antibióticos, del SARS-CoV-2, proteínas y otros biomarcadores presentes las EDARs. En este sentido desde hace un tiempo se utiliza el termino *One Planet, One Health* que en pocas palabras nos indica que tenemos una única salud, ambiental y humana a la vez y que no se pueden separar.

Ya en la parte final voy a agradecer una vez más a mis directores de tesis, Dr. Luis Eek y Dra. María Teresa Galceran, a mis profesores-tutores en la VU de Amsterdam, Prof. Roland W. Frei y Prof. U.A.Th Brinkman a mis compañeros, a mis colaboradores

que he tenido a lo largo de estos años, con más de 67 tesis doctorales presentadas y otras en curso y a los diferentes investigadores post-doctorales que se han formados tanto en el IDAEA-CSIC como en el ICRA-CERCA. También a mi familia, mi esposa Carmen, presente en este acto, y a mi madre Elvira y hermana Pilar que no han podido desplazarse, por todo el apoyo y ayuda en mi carrera investigadora. Agradecer a mi padre, Francisco, que falleció hace años la formación recibida en la educación básica y bachillerato, y a mi hermano Joan, que murió muy joven pero ha dejado un legado literario importante.

Querido Rector, querido amigo Amadeo, familiares, colaboradores, colegas académicos y amigos a todos os quiero reiterar mi agradecimiento por estar presentes en este acto y decir que llevaré con orgullo esta distinción desde hoy.

Muchas gracias

## REFERENCIAS

---

1. D. Barceló, F.A. Maris, R.B. Geerdink, R.W. Frei, G.J. de Jong and U.A.Th. Brinkman. «Comparison between positive, negative and chloride-attachment negative chemical ionization of organophosphorus pesticides in on-line liquid introduction liquid chromatography mass spectrometry». *J. Chromatography*, 394 (1987), 65-76.
2. M. Solé, M.J. López de Alda, M. Castillo, C. Porte, K. Ladegaard-Pedersen and D. Barceló. «Estrogenicity Determination in Sewage Treatment Plants and Surface Waters from the Catalanian Area (NE Spain)». *Environ. Sci. Technol.*, 34(24) (2000), 5076-5083
3. M. Vila-Costa, A. Martínez-Varela, D. Rivas, P. Martínez, C. Pérez-López, B. Zonja, N. Montemurro, R. Tauler, D. Barceló, A. Ginebreda, «Advanced analytical, chemometric, and genomic tools to identify polymer degradation products and potential microbial consumers in wastewater environments», *Chemical Engineering Journal* 442 (2022) 136175
4. V. Acuña, T. Datry, J. Marshall, D. Barceló, C.N. Dahm, A. Ginebreda, G.McGregor, S. Sabater, K. Tockner and M.A. Palmer. «Why should we care about temporary waterways». *Science*, 343 (2014), 1080-1081.
5. A. Serra-Compte, N. Corcoll, B. Huerta, S. Rodríguez-Mozaz, S. Sabater, D. Barceló and D. Álvarez-Muñoz. «Fluvial biofilms exposed to desiccation and pharmaceutical pollution: New insights using metabolomics». *Science of the Total Environment*, 618 (2018), 1382-1388.
6. Y. Pico, V. Belenguer, C. Corcellas, M.S. Díaz-Cruz, E. Eljarrat, M. Farré, P. Gago-Ferrero, B. Huerta, A. Navarro-Ortega, M. Petrovic, S. Rodríguez-Mozaz, L. Sabater, G. Santín and D. Barceló. «Contaminants of emerging concern in freshwater fish from four Spanish Rivers». *Science of the Total Environment*, 659 (2019), 1186-1198
7. M. Köck-Schulmeyer, A. Ginebreda, M. Petrovic, M. Giulivo, O. Zaznar-Aleman, E. Eljarrat, J. Valle-Sistac, D. Molins-Delgado, M.S. Díaz-Cruz, L.S. Monllor-Alcaraz, N. Guillem-Argiles, E. Martínez, M.L. de Alda, M. Llorca, M. Farré, J.M. Peña, L. Mandaric, S. Pérez, B. Majone, A. Bellin, E. Kalogianni, N.Th. Skoulikidis, R. Milacic and D. Barceló. «Priority and emerging organic microcontaminants in three Mediterranean river basins: Occurrence, spatial distribution, and identification of river basin specific pollutants». *Science of the Total Environment*, 754 (2020), 142344.
8. B. Huerta, S. Rodríguez-Mozaz, J. Lazorchak, D. Barceló, A. Batt, J. Wathen and L. Stahl. «Presence of pharmaceuticals in fish collected from urban rivers in the U.S. EPA 2008-2009 National Rivers and Streams Assessment». *Science of the Total Environment*, 634 (2018), 542-549.
9. I. Tubau, E. Vázquez-Suñé, J. Carrera, S. González, M. Petrovic, M.J. López de Alda and D. Barceló. «Occurrence and fate of alkylphenols polyethoxylate degradation products and linear alkylbenzene sulfonate surfactants in urban ground water: Barcelona case study». *Journal of Hydrology*, 383 (2010), 102-110.
10. M.J. García-Galán, L. Arashiro, L.H.M.L.M. Santos, S. Insa, S. Rodríguez-Mozaz, D. Barceló, I. Ferrer and M. Garfí. «Fate of priority pharmaceuticals and their main metabolites and transformation products in microalgae-based wastewater treatment systems». *Journal of Hazardous Materials*, 390 (2020), 121771

11. A. Hom-Díaz, A. Jaén-Gil, S. Rodríguez-Mozaz, D. Barceló, T. Vicent and P. Blánquez. «Insights into removal of antibiotics by selected microalgae (*Chlamydomonas reinhardtii*, *Chlorella sorokiniana*, *Dunaliella tertiolecta* and *Pseudokirchneriella subcapitata*). *Algal Research*, 61(2022), 102560
12. S. Noël-Tolboom, D. Carrillo-Nieves, M. de Jesús Rostro-Alanis, R. de la Cruz Quiroz, D. Barceló H.M.N. Iqbal and R. Parra-Saldivar. «Algal-based removal strategies for hazardous contaminants from the environment – A review». *Science of the Total Environment*, 665 (2019), 358-366
13. J. Rodríguez-Chueca, S. Varela, J. Rocha, T. Fernandes, C. Pablos, A. Encinas, D. Barceló, S. Rodríguez-Mozaz, C.M. Manaia and J. Marugán. «Assessment of full-scale tertiary wastewater treatment by UV-C based-AOPs: Removal or persistence of antibiotics and antibiotic resistance genes?» *Science of the Total Environment*, 652 (2019), 1051-1061.
14. Y. Picó, R. Álvarez-Ruiz, A.H. Alfarhan, M.A. El-Sheikh, H.O. Alshahrani and D. Barceló. «Pharmaceuticals, pesticides, personal care products and microplastics contamination assessment of Al-Hassa irrigation network (Saudi Arabia) and its shallow lakes». *Science of the Total Environment*, 701 (2020), 135021.
15. Y. Picó, R. Álvarez-Ruiz, A.H. Alfarhan, M.A. El-Sheikh, S.M. Alobaid and D. Barceló. «Uptake and accumulation of emerging contaminants in soil and plant treated with wastewater under real-world environmental conditions in the Al Hayer area (Saudi Arabia)». *Science of the Total Environment*, 652 (2019), 562-572.
16. M.J.M. Valverde, M.G. Gómez-Ramos, J.A. Salinas Andújar, D. Barceló and A.R. Fernández-Alba. «Fate, modeling, and human health risk of organic contaminants present in tomato plants irrigated with reclaimed water under real-world field conditions». *Science of the Total Environment*, 806(2022), 150909
17. S. Chiron, A. Fernández Alba and D. Barceló. «Comparison of On-Line Solid-Phase Disk Extraction to Liquid-Liquid Extraction for Monitoring Selected Pesticides in Environmental Waters». *Environ. Sci. Technol.*, 27 (1993). 2352-2359.
18. M. Petrovic, A. Rodríguez Fernández-Alba, F. Borrell, R.M. Marce, E. González and D. Barceló. «Occurrence and distribution of nonionic surfactants, their degradation products, and linear alkylbenzene sulfonates in coastal waters and sediments in Spain». *Environmental Toxicology and Chemistry*, 21(1) (2002), 37-46.
19. M.D. Hernando, M. Mezcua, A.R. Fernández-Alba, D. Barceló. «Environmental risk assessment of pharmaceutical residues in wastewater effluents, surface waters and sediments». *Talanta*, 69 (2006), 334-342.
20. M.J. Gómez, M. Petrovic, A.R. Fernández-Alba and D. Barceló. «Determination of pharmaceuticals of various therapeutic classes by solid-phase extraction and liquid chromatography-tandem mass spectrometry analysis in hospital effluent wastewaters». *Journal of Chromatography A*, 1114(2006), 224-233
21. C. Postigo, M.J. López de Alda and D. Barceló. «Fully Automated Determination in the Low Nanogram per Liter Level of Different Classes of Drugs of Abuse in Sewage Water by On-Line Solid-Phase Extraction-Liquid Chromatography-Electrospray-Tandem Mass Spectrometry». *Anal. Chem.*, 80 (2008), 3123-3134.
22. M. Carrascal, J. Abian, A. Ginebreda and D. Barceló. «Discovery of large molecules as new biomarkers in wastewater using environmental proteomics and suitable polymer probes». *Science of the Total Environment*, 747 (2020), 141145.

23. C. Perez-Lopez, A. Ginebreda, M. Carrascal, D. Barcelò, J. Abian and R. Tauler. «Non-target protein analysis of samples from wastewater treatment plants using the regions of interest-multivariate curve resolution (ROIMCR) chemometrics method». *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(4), (2021), 10572, 1-10.
24. Manish Kumar, Kiran Dhangar, Alok Kumar Thakur, Bhagwana Ram, Tushara Chaminada, Pradeep Sharma, Abhay Kumar, Nirav Raval, Vaibhav Srivastava, Jörg Rinklebe, Keisuke Kuroda, Christian Sonne, Damia Barcelo, «Antidrug resistance in the Indian ambient waters of Ahmedabad during the COVID-19 pandemic». *Journal of Hazardous Materials*, 416(2021)126125
25. W. James Wilson, MD, «isolation of B. Typhosus from sewage and shellfish», *British Medical Journal*, 1 (1928) 1061.
26. Y. Picó and D. Barceló. «Mass Spectrometry in Wastewater-Based Epidemiology for the Determination of Small and Large Molecules as Biomarkers of Exposure: Toward a Global View of Environment and Human Health under the COVID-19 Outbreak». *ACS Omega*, 6(46) (2021), 30865-30872
27. Mildred G. Jimenez-Rodríguez, Fernando Silva-Lance, Lizeth Parra-Arroyo, D. Alejandra Medina-Salazar, Manuel Martínez-Ruiz, Elda M. Melchor-Martínez, María Adriana Martínez-Prado, Hafiz M.N. Iqbal Roberto Parra-Saldívar, Damia Barcelo and Juan Eduardo Sosa-Hernandez, «Biosensors for the detection of disease outbreaks through wastewater based epidemiology» *Trends in Analytical Chemistry* (2022) en prensa.