

**QUÍMICA ORGÁNICA:  
ASPECTOS HISTÓRICOS, IMPACTO EN LA SOCIEDAD,  
AVANCES RECIENTES, E INVESTIGACIONES EN EL IQOG-CSIC**

**Bernardo Herradón García**  
*Instituto de Química Orgánica General, IQOG (CSIC)*

**RESUMEN**

En este artículo se presentan algunas de las aplicaciones de la química y cómo esta impacta en el bienestar del ser humano. Se tratan brevemente algunos aspectos históricos de la química y, se presenta el origen de la división tradicional de la química en diversas disciplinas; una clasificación que no es válida en la actualidad. Se expone la situación actual del trabajo de los químicos y su relación con otras áreas del conocimiento; haciendo especial hincapié en algunos aspectos investigados que se están investigando en química orgánica. Finalmente, se presenta una breve historia y la situación del Instituto de Química Orgánica General (IQOG-CSIC), destacando algunos aspectos de su investigación.

**1. LA QUÍMICA Y SU IMPACTO EN LA SOCIEDAD**

*La química es la ciencia que estudia la composición, estructura, propiedades y transformaciones de la materia, especialmente a nivel atómico y molecular.*

En esta definición formal, los términos claves son atómico y molecular. Puesto que toda la materia que nos rodea está formada por estos componentes microscópicos, podemos decir que *‘la química nos rodea, todo es química’*. Sin embargo, a veces, esta visión de la química no es compartida (con razón) por otros científicos de la naturaleza, que piensan que es un enfoque exagerado, pues hay aspectos de la naturaleza que no son abordados por la química. Desde una posición más modesta, *‘podemos afirmar que todo lo cotidiano es química’*, pudiendo calificar a *‘la química como la ciencia de lo cotidiano’*. Esta percepción de la química procede del hecho de que todo lo que usamos y/o vemos a diario está hecho de materiales que, a su vez, están formados por sustancias químicas (Figura 1) [1].

Cada día, todos los seres humanos interaccionamos con decenas de miles de sustancias químicas; la mayoría de ellas son beneficiosas para nuestro bienestar. El ser humano se beneficia de los avances de la química en las siguientes facetas [2]:

1) Salud humana. Con la química tenemos principios activos para medicinas, materiales de diagnóstico, prótesis, y muchos más materiales para cuidar nuestra salud. La química también permite el progreso en biomedicina, proporcionando sustancias químicas para estudiar procesos biológicos que pueden estar relacionados con alguna enfermedad.

2) Veterinaria. Cuidamos la salud de nuestro ganado y animales de compañía con medicinas veterinarias.



renovables, contribuiremos a resolver el problema medioambiental. Por otro lado, el empleo masivo de sustancias químicas también causa un serio deterioro medioambiental. Tristemente, este el peaje que tiene que pagar una sociedad avanzada tecnológicamente. Muchos compuestos químicos de amplio uso (por ejemplo, pesticidas o detergentes) son beneficiosos en nuestra vida cotidiana, pero el uso de este tipo de tipo de sustancias debe hacerse de manera racional y controlada, lo que no siempre ocurre. La química puede contribuir a mejorar la situación medioambiental en diversas facetas.

8) Deportes y ocio. La química juega un papel importante en el avance deportivo, tanto a nivel profesional como aficionado. Gracias a la química, tenemos métodos y productos para controlar y mejorar de la salud del deportista, lucha antidopaje, materiales para la práctica deportiva, instalaciones deportivas, etc. Por otro lado, otras actividades relacionadas con el ocio también dependen de la existencia de sustancias químicas.

9) Materiales cotidianos. Todo lo que usamos a diario —ropa, cosmética, higiene, limpieza, colorantes, entre otras— son sustancias químicas.

10) Materiales tecnológicos. La química está produciendo sustancias con propiedades eléctricas, magnéticas, ópticas o mecánicas extraordinarias; con la que se están produciendo materiales para aplicaciones de tecnología muy sofisticada: materiales para aeronáutica, electrónica, comunicaciones, computación, grandes obras de ingeniería, etc.

## 2. LA QUÍMICA, LA CIENCIA CENTRAL. RELACIÓN CON OTRAS CIENCIAS.

Las sustancias químicas son herramientas útiles para estudiar procesos y desarrollar teorías en otras áreas científicas; contribuyendo al progreso de otras ciencias. Por esta razón, se considera que la química es la ciencia central. La química interacciona con otras ciencias, como las *ciencias biológicas*, la *ciencia de los alimentos*, la *toxicología*, las *ciencias medioambientales*, la *ciencia de los materiales*, etc. La relación de la química con las otras ciencias queda reflejada en la *Figura 2*.

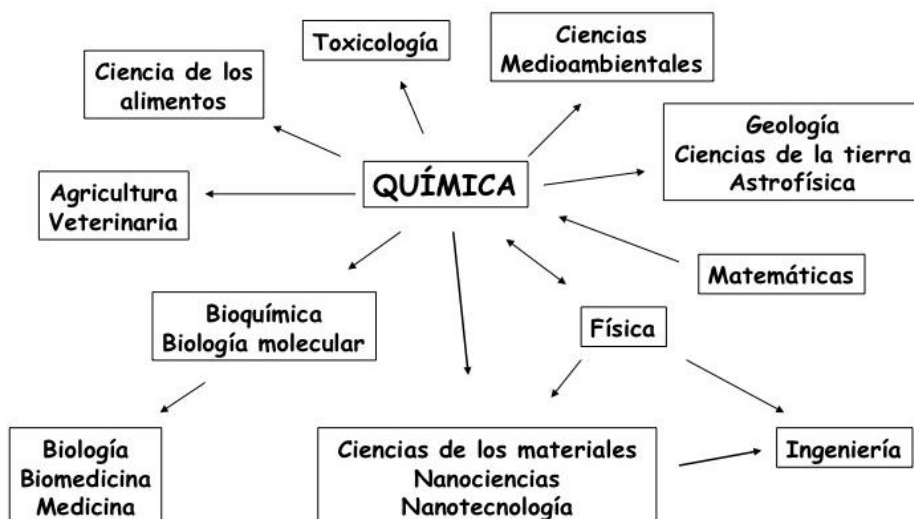


Figura 2. La centralidad de la química y su relación con otras ciencias.

En la mayoría de los casos, la flecha que une la química con la otra ciencia está orientada de la química a la otra ciencia. Esto quiere decir que la química aporta objetos de estudio (sustancias químicas), conceptos y métodos para que las otras ciencias estudien fenómenos y/o generen productos de consumo, contribuyendo a su avance. Además, cuando dos de las ciencias no unidas directamente interaccionan entre sí, lo tienen que hacer a nivel íntimo de la materia, generalmente a nivel molecular; y en este caso, estamos hablando de química.

En la *Figura 2*, la relación de la química con las *matemáticas* y con la *física* se indica por una flecha de sentido contrario (las matemáticas) y de doble punta (la física). En el primer caso, se pone de manifiesto que la química apenas ha aportado a las matemáticas (excepto algún objeto de estudio para matemáticos interesados en teoría de grafos, topología y teoría de grupos) y, al contrario, las matemáticas, como ocurre en su relación con otras ciencias, aportan métodos de cálculo, modelización de resultados y base teórica.

Por otro lado, la relación con la física se indica con la flecha de doble punta que pone de manifiesto que la física proporciona la mayoría de los fundamentos de la química; pero que el progreso en ciertas áreas de la física se puede realizar cuando se usan sustancias químicas para realizar experimentos.

### 3. BREVES NOTAS HISTÓRICAS SOBRE LA QUÍMICA.

Históricamente —desde la época de *Lavoisier* (1743-1794) y, sistematizado por *Berzelius* (1779-1848)—, la química se ha dividido en dos grandes áreas —la *química orgánica* y la *química inorgánica*— basada en el estudio de los dos tipos de compuestos: orgánicos e inorgánicos.

Lavoisier demostró que todos los compuestos orgánicos contienen carbono y que generan dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) cuando se queman (se someten a una combustión). Sin embargo, a principios del siglo XIX no se entendía bien el comportamiento de los compuestos orgánicos. Mientras que el comportamiento de la mayoría de los compuestos inorgánicos se podía explicar con las leyes de la química y se podían preparar en un laboratorio, los compuestos orgánicos no se ajustaban a las leyes de la química, solo se podían aislar de seres vivos y no se podían preparar en un laboratorio. Estos hechos dieron lugar a una teoría química errónea (*vitalismo*), que se basaba en que los compuestos orgánicos solo se podían formar por intermediación de una *fuerza vital*. Esta teoría se empezó a abandonar en 1828, cuando *Wöhler* (1800-1882) preparó urea (un producto de un ser vivo) a partir de material inorgánico (cianato de plata y cloruro de amonio) y se descartó totalmente en 1845, cuando *Kolbe* (1818-1884) preparó ácido acético a partir de compuestos inorgánicos (sulfuro de hierro, cloro, carbono y agua). Aparte de desterrar la teoría del vitalismo, las investigaciones de Kolbe fueron el origen de la síntesis química —el área científica que aborda la fabricación de compuestos químicos en un laboratorio.

El progreso de la síntesis química dio lugar a una de las definiciones más sugestivas de la química, como “*la ciencia que crea su propio objeto*” (*Berthelot*, 1827-1907). En esta frase está recogido el carácter creativo de la química, que le hace parecer al arte, pues en palabras del Premio Nobel de Química, Jean-Marie Lehn (nacido en 1937, Premio Nobel en 1987): “*La química es como el arte. Por ambos caminos obtienes cosas. Con la química puedes cambiar el orden de los átomos y crear realidades que no existían*”.

Cuando los químicos se dieron cuenta que podían crear nuevas sustancias químicas, empezaron a buscar aplicaciones. Ya en el siglo XIX, la química era una ciencia de moda en la sociedad pues proporcionaba muchas sustancias (mejoras en la producción de alimentos, tejidos, colorantes, jabones, metales, medicamentos) que facilitaban la vida de las personas. Actualmente, esta capacidad de la química de obtener sustancias y materiales es fundamental para el bienestar de la humanidad, como se ha presentado en el apartado anterior.

El progreso de la química en sus orígenes como ciencia moderna se fundamentó, principalmente, en el desarrollo de métodos de análisis: cualitativo (que permite conocer los elementos químicos que constituyen una sustancia) y cuantitativo (que proporciona el porcentaje de cada elemento presente en la muestra). Estas investigaciones dieron lugar a la *química analítica*, una disciplina transversal de la química.

A mediados del siglo XIX surgió otra disciplina transversal de la química: *la química física*, que es el campo de investigación en el que interaccionan la física y la química. Esta área científica permitió racionalizar numerosos resultados experimentales de la química y, lo que es más importante en ciencia, hacer predicciones.

#### 4. SITUACIÓN ACTUAL DE LAS ÁREAS DE LA QUÍMICA

Actualmente, aunque algunas facultades de Química se siguen organizando según las cuatro disciplinas ‘clásicas’ (en algunos sitios, con alguna más, como la *bioquímica* y la *ingeniería química*), esta clasificación es obsoleta, pues la química contemporánea es una ciencia multidisciplinar e interdisciplinar, sin fronteras entre las diversas disciplinas de la química y con interacciones con las áreas que se han indicado en la *Figura 2*.

Hay que destacar, especialmente, las relaciones de la química con la *biomedicina* y la *ciencia de los materiales* (incluyendo la *nanociencia* y la *nanotecnología*) Estas dos áreas del conocimiento serán fundamentales en el progreso de la humanidad en las próximas décadas, contribuyendo a mejorar nuestra salud y proporcionando los utensilios necesarios para nuestro bienestar.

#### 5. ALGUNOS AVANCES RECIENTES EN QUÍMICA ORGÁNICA

La química orgánica es el estudio de la síntesis, estructura, reactividad y propiedades del diverso grupo de compuestos químicos constituidos por carbono. Toda la vida en la tierra se basa en el carbono, por lo que la química orgánica también es la base de la bioquímica. La capacidad de formar compuestos que contienen largas cadenas de átomos de carbono es la base de la *química de los polímeros*. También la mayoría de los principios activos de los fármacos son compuestos orgánicos, como lo son muchas sustancias con las que se preparan materiales de uso cotidiano y tecnológicos.

Algunos de los temas actuales de la química orgánica —marcados por una alta interdisciplinaridad— se indican a continuación:

- Desarrollo de métodos sintéticos guiados por los principios de la *química verde* y la *química sostenible*. Un compromiso de la ciencia es la protección medioambiental. Para ello, la química está desarrollando procesos —especialmente con potenciales aplicaciones medioambientales— que reduzcan la generación de residuos y que usen materiales de fuentes renovables (química verde) y que minimicen el coste energético (química sostenible) [4].
- Aplicaciones en *química ambiental*. Se está avanzando en la búsqueda de alternativas más limpias a los materiales usados en la actualidad. Se están desarrollando metodología para la cuantificación de compuestos orgánicos con impacto medioambiental, con especial énfasis en la *química analítica verde*, con aplicaciones prácticas en campos diversos como el análisis de alimentos, ambiental o biológico.
- Desarrollo de metodología sintética que maximice la economía atómica, otro de los principios de la química verde. En este contexto, podemos mencionar la conocida como *química click* y sus aplicaciones a reacciones químicas *in vivo* (*química bioortogonal*). Ambas investigaciones fueron galardonadas con el Premio Nobel de Química en 2022 [5].
- La *catálisis* es un aspecto fundamental de la química, desde sus orígenes en la década de 1830s. En química orgánica se investiga activamente en métodos catalíticos. Hay que mencionar, especialmente, la *organocatálisis*, reconocida con el Premio Nobel de Química en 2021 [6].
- Preparación, caracterización estructural, y estudio de propiedades de materiales, incluidos nanomateriales y polímeros. También se está investigando procesos de reciclaje de materiales, especialmente de polímeros (plásticos). Estas estrategias son importantes en la estrategia de *economía circular*.

- Desarrollo de técnicas para el estudio de moléculas orgánicas y sus interacciones, que son la base de la *química supramolecular*, con importantes aplicaciones en biomedicina y ciencia de los materiales.
- Estudio de propiedades de *moléculas aromáticas*, que tienen amplia utilidad en el diseño de fármacos y de materiales tecnológicos. Entre estas investigaciones, podemos destacar la búsqueda de métodos que cuantifiquen la aromaticidad.
- Aplicaciones en biomedicina: diseño y síntesis de compuestos biológicamente activos y fármacos; herramientas para el estudio de procesos biológicos — incluyendo compuestos útiles en genómica, proteómica, metabolómica e interactómica—; compuestos químicos para preparar biomateriales.

## 6. BREVE HISTORIA DEL IQOG

El CSIC se creó en 1939 y se organizó en diferentes Departamentos (con diversas denominaciones). La investigación en química fue adscrita al Instituto Alonso Barba, que en 1942 se estructuró en varias Secciones, entre ellas la de Química Orgánica, que dirigió *Manuel Lora Tamayo* (1904-2002); que, a su vez, se estructuró en tres Departamentos: *Síntesis y Química Orgánica Teórica*, *Plásticos* y *Fermentaciones Industriales*.

A partir de las estancias postdoctorales de los colaboradores de Lora Tamayo, se amplió el ámbito científico del departamento que estaba bajo su dirección (años 40 y 50), creando líneas de investigación sobre: reacción de Diels-Alder, trabajos en ésteres de fosfato, estudios de los mecanismos de reacción, estudios de enzimología y síntesis de heterociclos. Así como un laboratorio de apoyo con técnicas de microanálisis, que con el tiempo fue aumentando su importancia mediante la incorporación de más equipos y de recursos humanos, siendo el origen del departamento de Instrumentación Analítica.

En 1966 con la construcción de un nuevo edificio ubicado en la calle de Juan de la Cierva (inauguración oficial del edificio el 18 de abril de 1967), los tres Departamentos de los años 1940s se convirtieron en Institutos y se trasladan juntos al nuevo edificio, creándose la denominación del actual Instituto de Química Orgánica General (IQOG). La estructura y organización inicial del IQOG se mantuvo durante mucho tiempo. Los temas de investigación fueron evolucionando y desarrollándose en diferentes aspectos de la Química Orgánica: síntesis orgánica, aislamiento y transformaciones de productos naturales, bioquímica y estudio de mecanismos de reacción, entre otros. A finales de los años 60 se incorporaron investigaciones en ciencias de la separación en el Departamento de Análisis Instrumental [7].

## 7. LA INVESTIGACIÓN ACTUAL EN EL INSTITUTO DE QUÍMICA ORGÁNICA GENERAL (IQOG)

El IQOG es un centro de investigación del Consejo Superior de Investigaciones Científicas dedicada a la investigación básica y sus aplicaciones en química orgánica y áreas relacionadas.

Actualmente, el IQOG está constituido por 29 investigadores distribuidos en tres departamentos, en los que se desarrollan un total de 49 proyectos en convocatorias competitivas. Los departamentos del IQOG son: Análisis Instrumental y Química Ambiental (AIQA), Química Bio-orgánica (QBO) y Síntesis, Estructura y Propiedades de Compuestos Orgánicos (SEPCO). En el IQOG también se prestan una serie de servicios científico-técnicos que abarcan áreas tan diversas como el análisis de peptidoglicanos a producción de proteínas recombinantes en *Escherichia coli* [8].

En el plan estratégico del IQOG para el periodo 2022-2025 se indica que la misión del IQOG es realizar una investigación competitiva y de alta calidad en distintas temáticas científico-tecnológicas del área de la química, en la interfase con otros campos como la biología, la biomedicina, las ciencias medioambientales, la ciencia y tecnología de los Alimentos y ciencia y tecnología de materiales, entre

otros. Sus funciones se centran en desarrollar investigación científica y tecnológica en el ámbito de la Química, especialmente de la Orgánica y Analítica, contribuyendo a la generación de conocimiento en dichos ámbitos.

En paralelo es importante la transferencia de los resultados de su investigación y la oferta de servicios científico-técnicos a las instituciones públicas y privadas que lo demanden, así como informar, asistir y asesorar en materia de ciencia y tecnología a entidades públicas y privadas.

La formación de investigadores y técnicos expertos en las distintas áreas de la Química en las que el IQOG está especializados es fundamental, así como la divulgación de la ciencia, las colaboraciones con otras instituciones y universidades, tanto en docencia de grado como de posgrado [9].

A continuación, se resumen algunas de las investigaciones recientes en el IQOG en diferentes líneas de investigación actuales en química orgánica y áreas relacionadas.

## 8. LA REACCIÓN *CLICK* DE AZIDAS Y ALQUINOS CATALIZADA POR CU(I). APLICACIONES EN QUÍMICA MÉDICA.

El grupo de *Química bio-organometálica* del IQOG, liderado por la Dra. de la Torre, está desarrollando una metodología sintética para acceder de manera eficiente a complejos organometálicos de carbenos *N*-heterocíclicos mesoiónicos (MIC) derivados de productos naturales. Esta metodología se basa en el uso de una reacción *click* entre azidas y alquinos catalizada por Cu(I) dentro del paradigma de la *Síntesis Orientada Diversidad Estructural (Diversity Oriented Synthesis, DOS)*.

Como prueba de la eficacia de esta reacción, se puede destacar la síntesis de la “caja molecular” derivada de estrona (Figura 3) [10] obtenida en dos etapas sintéticas en las que se produce una triple reacción *click* en cada una de ellas

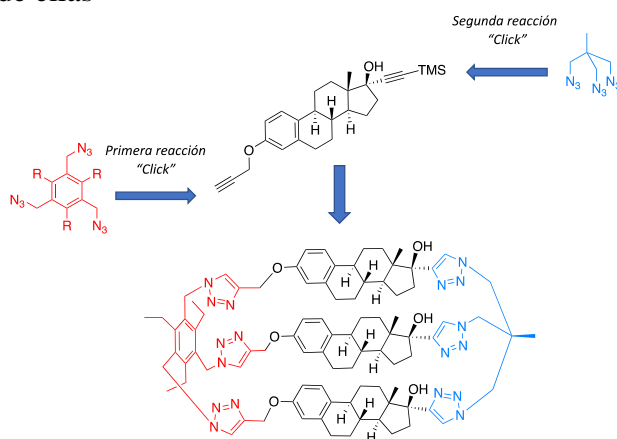


Figura 3. Aplicaciones de la química *click* a derivados de estrona.

El fácil y rápido acceso a los sistemas derivados de 1,2,3-triazol de diferentes productos naturales ha permitido obtener, los correspondientes carbenos mesoiónicos derivados de metales de transición. Hay que destacar el acceso, por primera vez, a metalo- $\beta$ -lactamas como las derivadas de penicilina G, que pueden tener valor en el área terapéutica de los antibióticos (Figura 4).

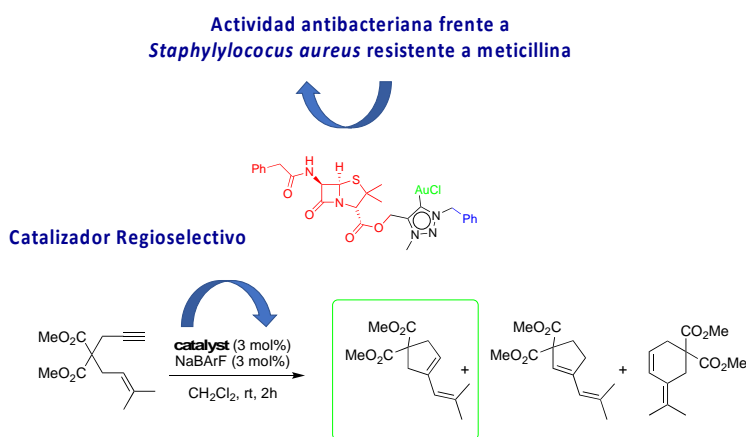


Figura 4. Aplicaciones de los derivados de 1,2,3-triazol en química médica y catálisis.

El carbeno de Au(I) del Esquema 2 presenta actividad antibacteriana frente a cepas resistentes a meticilina. Debido al aumento de la resistencia bacteriana, el desarrollo de nuevos antibióticos es un área de investigación prioritaria. Además, este carbeno es un catalizador completamente regioselectivo en la reacción de cicloisomerización de eninos (Figura 5) [11].

## 9. INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA MÉDICA

La *química médica* es una de las ciencias farmacéuticas con profundas raíces en la química, y más en particular, en la química orgánica, cuyos objetivos son el diseño, la síntesis, bio-evaluación, y desarrollo de nuevas moléculas, seguras y eficientes, para uso terapéutico, e identificación y registro, como fármacos de uso clínico, para el tratamiento de las enfermedades que acechan nuestra salud y bienestar. Se trata de un proceso largo y costoso, que solo es posible a través de la colaboración interdisciplinaria entre equipos de expertos procedentes de diversas áreas, y una fuerte inversión y desembolso económico. Lo que supone, en definitiva, que solo las grandes y medianas compañías farmacéuticas sean capaces de abordar este formidable reto. No obstante, a nivel de la academia y centros de investigación públicos, con sus limitaciones y dispersión de los expertos necesarios para la tarea, sí es posible contribuir en desarrollos similares, a menor escala, para los mismos fines.

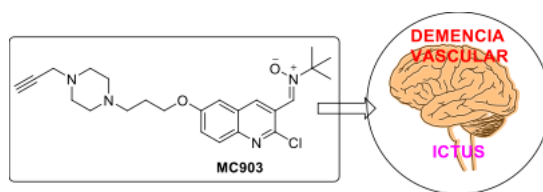


Figura 5. Estructura de un compuesto bioactivo útil en el tratamiento de enfermedades neurodegenerativas.

En el grupo de *Química médica*, dirigido por el Dr. Marco-Contelles, desde los años 90 se están desarrollando proyectos de investigación para la terapia de enfermedades de la edad, como la demencia vascular y la isquemia cerebral (ictus), y cuya más reciente contribución ha sido la identificación *in vitro*, en modelos adecuados, de la quinolinilnitrona MC903 para la posible terapia única y polivalente de ambas patologías, ya que comparten muchos eventos biológicos y se producen como origen el uno del otro, y viceversa. La prueba de concepto en estudios *in vivo* apropiados está en proceso, como paso previo para la fase pre-clínica de su desarrollo [12].



## 10. QUÍMICA ANALÍTICA VERDE

Los primeros estudios desarrollados en el contexto de la *química analítica verde* se orientaron a la protección del personal implicado en el desarrollo de los análisis; mediante el diseño y desarrollo de procedimientos analíticos automatizados y de sistemas integrados. Estas investigaciones evolucionaron rápidamente hacia el diseño y desarrollo de nuevas técnicas y métodos que permitían reducir, o incluso eliminar por completo, el uso y la generación de sustancias peligrosas en todos los pasos del proceso analítico, dando lugar al concepto de *química analítica verde*. En este contexto, la opción ideal correspondería a las técnicas de análisis directo, ya que permiten eliminar por completo la manipulación de muestra. Sin embargo, las limitaciones en precisión y sensibilidad inherentes a la gran mayoría de estas técnicas hacen que, incluso hoy día, sólo tengan aplicación práctica en algunas áreas de investigación muy específicas, y siempre apoyadas por un tratamiento quimiométrico posterior de los datos. Es decir, el tratamiento de la muestra sigue siendo una etapa imprescindible en la mayor parte de los procesos analíticos.

Recientemente, el *Grupo análisis instrumental en medio ambiente, alimentos y salud* —liderado por la Dra. Ramos— ha realizado aportaciones significativas en esta área científica, que permiten disponer de una serie de técnicas de extracción nuevas, en su mayoría miniaturizadas, que posibilitan una reducción significativa en el uso de reactivos peligrosos y en la cantidad de residuos generados en el conjunto del proceso analítico. En todos los casos se ha demostrado su contribución efectiva a la disminución del uso de reactivos, tiempo de respuesta, consumo de energía y generación de desechos.

Tradicionalmente, estas técnicas analíticas, hoy consideradas como bien establecidas y aceptadas por la comunidad científica, siguen involucrando, de un modo u otro, el empleo de algún tipo de disolvente orgánico volátil (*volatile organic solvent*, VOS) tóxico y/o peligroso.

A pesar del interés evidente que podría tener reemplazar esos VOS por otros disolventes más verdes y menos tóxicos, los estudios en este campo son aún incipientes. Es precisamente en esta área de conocimiento en el que se están centrando las investigaciones más recientes del grupo del IQOG. Así, partiendo de la experiencia previa en el uso de disolventes modulables, en concreto los basados en líquido iónicos (*ionic liquids*, ILs) para la extracción y fraccionamiento selectivo de compuestos bioactivos de fuentes naturales, en la actualidad las investigaciones se centran en la evaluación de disolventes eutécticos profundos (*deep eutectic solvents*, DES), y en especial de aquellos DES basados en componentes naturales (NADES) por su mayor inocuidad, para aspectos tan diversos como la extracción selectiva y conservación de proteínas empleadas como biomarcadores, de componentes bioactivos de plantas y residuos de la industria alimentaria, y de residuos de contaminantes orgánicos de matrices alimentarias y ambientales de distinta naturaleza.

Se trata de una investigación ambiciosa, multidisciplinar y no exenta de complejidad, pero en la línea de las más actuales en este campo de conocimiento emergente, en la que, sobre las predicciones aportadas por las teorías HSP y COSMO-RS para la selección *in silico* de los disolventes modulables más adecuados en cada caso, convergen los amplios conocimientos de química analítica y análisis instrumental, así como la contrastada experiencia complementaria de los distintos integrantes del grupo para proponer nuevas soluciones a problemas concretos y actuales en los campos alimentario, ambiental y biológico [13].

## 11. COMPUESTOS AROMÁTICOS Y PÉPTIDOS: ESTUDIOS ESTRUCTURALES, COMPUESTOS BIOLÓGICAMENTE ACTIVOS, Y DESARROLLO DE MATERIALES PARA BATERÍAS.

El grupo del Dr. Herradón, en el departamento SEPCO, investiga diversos aspectos básicos y aplicados de compuestos aromáticos y derivados de amidas y péptidos.

Entre los resultados recientes más relevantes, se pueden destacar los siguientes:

1) Elaboración de una escala universal de aromaticidad, que permite clasificar los compuestos orgánicos en los tres grupos: aromáticos, no-aromáticos, y antiaromáticos; permitiendo la cuantificación computacional de esta importante propiedad química que, al no ser un observable, no se puede determinar experimentalmente [14].

2) Estudios de las interacciones no covalentes en híbridos péptido-areno. Estas moléculas contienen un fragmento derivado de un aminoácido y/o un péptido unido a un fragmento no-peptídico derivado de un compuesto aromático. Este tipo de estudios nos permiten racionalizar las propiedades (biológicas y tecnológicas) de este tipo de compuestos [15].

3) Actividad biológica de híbridos péptido-areno y compuestos relacionados. Principalmente hemos evaluado su capacidad como agentes neuroprotectores y antivirales [16].

4) Preparación, estudios estructurales y termodinámicos, y evaluación electroquímica de materiales para el desarrollo de dispositivos electroquímicos de almacenamiento de energía. Este es uno de los grandes objetivos de nuestra sociedad actual, pues el conseguirlo nos permitirá disponer de un método adecuado para almacenar, en forma de electricidad, la energía que producimos de fuentes renovables (solar, eólica, geotérmica, etc.). Esta investigación es medioambientalmente conveniente y contribuirá a paliar el cambio climático. Nuestra investigación se basa en el desarrollo de baterías recargables de ión sodio e ión potasio, que presentan algunas ventajas sobre las de ión litio, de gran uso en la actualidad [17].

## 12. REFERENCIAS

- [1] B. Herradón García. *Los avances de la química*. Libros de la Catarata-CSIC. 2011. ISBN: 978-84-8319-647-2.
- [2] <https://educacionquimica.wordpress.com/>
- [3] <https://educacionquimica.wordpress.com/2016/04/26/la-quimica-y-los-alimentos-2/>
- [4] P. T. Anastas, J. C. Warner, *Green Chemistry: Theory and Practice*. Oxford University Press. 2000. ISBN: 9780198506980.
- [5] <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2022/summary/>
- [6] <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2021/summary/>
- [7] B. Herradón García en *Ciencia y Técnica en la Universidad. Trabajos de Historia de las Ciencias y de las Técnicas*. Volume I, 199-211. Dolores Ruiz-Berdún (editor). Universidad de Alcalá, servicio de publicaciones. 2018, ISBN: 978-84-16978-80-9.
- [8] <https://www.csic.es/es/investigacion/institutos-centros-y-unidades/instituto-de-quimica-organica-general>
- [9] <https://educacionquimica.wordpress.com/2022/07/26/comienzo-el-curso-los-avances-de-la-quimica-y-su-impacto-en-la-sociedad/>
- [10] H. E. Montenegro, P. Ramírez-López, M. C. de la Torre, M. Asenjo, M. A. Sierra, *Chem. Eur. J.*, 2010, 6, 3798.
- [11] M. G. Avello, M. Moreno-Latorre, M. C. de la Torre, L. Casarrubios, H. Gornitzka, C. Hemmert, M. A. Sierra, *Org. Biomol. Chem.*, 2022, 20, 2651.
- [12] J. L. Marco-Contelles y col. *Pharmaceuticals* 2021, 14, 861.
- [13] E. Hurtado-Fernández, M. Velázquez-Gómez, S. Lacorte, L. Ramos, *J. Hazardous Materials* 2021, 411, 125058.
- [14] M. Alonso, C. Miranda, N. Martín B. Herradón. *Phys. Chem. Chem. Phys.* 2011, 13, 20564.
- [15] M. Alonso, R. Chicharro, C. Miranda, V. J. Arán, M. A. Maestro, B. Herradón. *J. Org. Chem.* 2010, 75, 342.
- [16] R. Chicharro, M. Alonso, M. T. Mazo, V. J. Arán, B. Herradón. *ChemMedChem* 2006, 1, 710.
- [17] C. Santamaría, E. Morales, C. del Río, B. Herradón, J. M. Amarilla. *Electrochimica Acta* 2023, 439, 141654.