OCTUBRE 2026

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

Nº 50

BOLETÍN DE DIVULGACIÓN

Facultad de Ciencias Químicas. UCM



Octubre, mes de los Nobel: de las Moléculas Quirales a la Optogenética

Belén Yélamos López
Vicedecana de Ordenación Académica, Biblioteca y Divulgación

¡Hemos llegado al Nº 50! Y nos unimos a la celebración de los Premios Nobel 2026 destacando el galardón de Química otorgado a Henri B. Kagan y Kenso Soai por resolver el enigma de la homoquiralidad biológica a través de la catálisis y la autocatálisis asimétrica, junto con el Nobel de Fisiología o Medicina concedido a Karl Deisseroth, Peter Hegemann y Georg Nagel por desarrollar la optogenética para el control de la actividad neuronal mediante la luz. En la sección QONECTA y de noticias, tratamos temas de la química cotidiana e industrial, como las transformaciones químicas del tostado y extracción del café, la historia del matraz Dewar y la criogenia, y el empleo del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para medir la sostenibilidad de procesos de desfosilización. Recogemos también varias iniciativas culturales y educativas y terminamos con un artículo sobre el pan y toda la química que acompaña a este alimento tan presente en nuestras casas todos los días.

EN ESTE NÚMERO

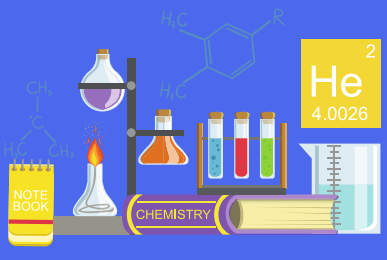
NOTICIAS.....2

QCONECTA.....17

ACTIVIDADES DE DIVULGACIÓN.....26

LA INVESTIGACIÓN EN LA FACULTAD 36

DIVULGAR PARA EDUCAR.....42



¿Quieres divulgar con nosotros?
Envíanos tus ideas a
vddivulgacionquim@ucm.es

PREMIO NOBEL DE QUÍMICA 2026

LA QUÍMICA QUE APRENDIÓ A ELEGIR

Belén Yélamos López

Dpto. Bioquímica y Biología Molecular

Cuando miras tus manos, notarás que la mano izquierda y la mano derecha son reflejos especulares casi perfectos. Sin embargo, por mucho que lo intentes, es imposible superponerlas manteniendo ambas palmas hacia el mismo lado. En el mundo de la química ocurre exactamente lo mismo: existen compuestos que poseen una forma 'zurda' y una forma 'diestra'. Los químicos denominan a este fenómeno **quiralidad** (del griego "*kheir*", mano). Son dos versiones tienen la misma composición y los mismos enlaces, pero sus disposiciones espaciales son imágenes especulares no superponibles. Lo verdaderamente increíble es que la vida en la Tierra eligió de una de estas dos versiones moleculares (llamadas **enantiómeros**).

Todas las proteínas que constituyen nuestras células, enzimas y tejidos están construidas únicamente con aminoácidos de configuración *levo* (L-aminoácidos). Por el contrario, los azúcares que arman el esqueleto del ADN y del ARN son exclusivamente diestros (D-azúcares). Esta condición se conoce como **homoquiralidad biológica**. Sin embargo, cuando un químico sintetiza estas moléculas en un laboratorio a partir de sustancias simples, el azar dicta que obtenga una mezcla simétrica al 50% de ambos enantiómeros (**mezcla racémica**). ¿Cómo surgió entonces un mundo homoquiral a partir de la sopa primordial simétrica hace más de 3.500 millones de años? El Premio Nobel de Química de 2026 ha reconocido a Henri B. Kagan y Kenso Soai por proporcionar una posible solución para este enigma histórico.



KENSO SOAI
Nacido en Hiroshima, Japón en 1950.
Profesor Emérito en la Universidad de Ciencia de Tokyo, Japón



HENRI B. KAGAN
Nacido en Boulogne-Billancourt, Francia en 1930.
Profesor Emérito en la Universidad París-Sur, Francia.

NOTICIAS DE DIVULGACIÓN

Los descubrimientos realizados por Kagan y Soai son de gran importancia ya que diseñaron reacciones químicas muy utilizadas en al síntesis de fármacos o productos químicos para la agricultura. Para entender por qué la quiralidad obsesiona a la ciencia, basta con analizar cómo interactúan las moléculas con nuestro cuerpo. Nuestros receptores biológicos, al estar formados por proteínas homoquirales, actúan como cerraduras tridimensionales muy específicas. Una molécula zurda encajará a la perfección produciendo un efecto determinado, mientras que su imagen especular diestra no encajará o activará una cerradura totalmente distinta.



La quiralidad, representada mediante un centro tetraédrico con cuatro grupos diferentes.
Las dos disposiciones son imágenes especulares y no se pueden superponer. Imagen realizada con IA.

Efectos de la Quiralidad en la Industria Farmacéutica

- **Enantyum (Dexketoprofeno)**: El analgésico convencional ketoprofeno se comercializaba como mezcla racémica (50% levo, 50% dextro). Al desarrollar técnicas para aislar únicamente la 'mano activa' (el enantiómero dextrógiro), se logró el mismo efecto analgésico reduciendo la dosis a la mitad y mitigando efectos secundarios digestivos.
- **Talidomida**: En los años 50, este fármaco se recetó contra las náuseas del embarazo. Uno de sus enantiómeros era un sedante seguro, pero el otro provocaba severas malformaciones fetales. Además, el organismo humano interconvierte ambos enantiómeros "in vivo", demostrando que dos imágenes especulares son, biológicamente, dos sustancias completamente diferentes.

Los antecedentes de Pasteur y las reglas de Frank

La fascinación por la asimetría comenzó en 1848 con **Louis Pasteur** cuando, al examinar unos cristales de **ácido tartárico** procedentes de la fermentación del vino bajo el microscopio, notó que existían dos tipos de cristales que eran imágenes especulares. Con unas pinzas, los separó uno a uno y, al disolverlos por separado, descubrió que una solución desviaba el plano de la luz polarizada hacia la derecha (*dextro*) y la otra hacia la izquierda (*levo*). Más tarde, observó además que las bacterias consumían con avidez solo la forma dextrógira, dejando la otra intacta.

En 1904, el químico **Willy Marckwald** logró la primera síntesis asimétrica parcial al emplear un **catalizador quiral**, demostrando que era posible romper ligeramente la simetría en el matraz. No obstante, el salto conceptual hacia cómo la naturaleza pudo pasar de una ligera preferencia inicial a una asimetría total no llegó desde la química, sino de la física teórica.

En 1953, el físico británico **Frederick Charles Frank** publicó un trabajo teórico donde demostró matemáticamente que la homoquiralidad solo podía emerger si una reacción química cumplía tres condiciones o reglas fundamentales:

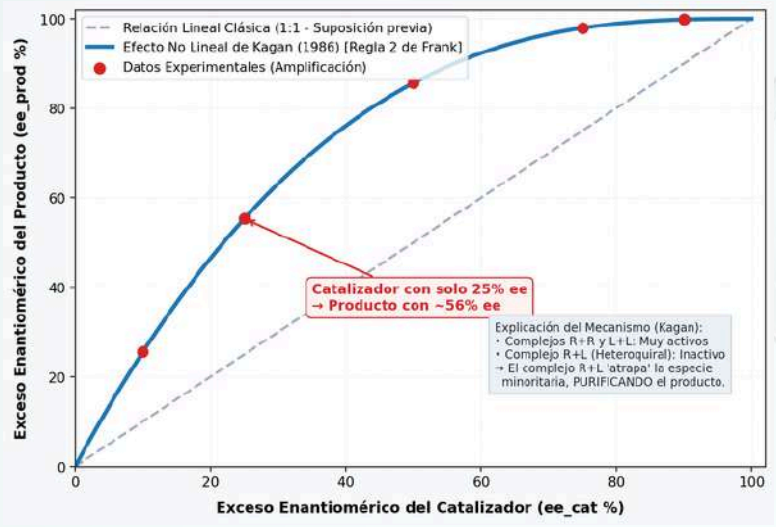
- **REGLA 1. Catálisis Asimétrica.** Debe existir una reacción asimétrica impulsada por un catalizador quiral. Esta regla fue demostrada por Marckwald.
- **REGLA 2. Amplificación y supresión**. La formación de una forma debe amplificarse mientras la de la opuesta se inhibe. Kagan descubrió en 1986 los efectos no lineales en catálisis asimétrica.
- **REGLA 3. Autocatálisis Asimétrica**. El producto quiral debe actuar como catalizador de su propia formación. Soai estableció la *Reacción de Soai*, una autocatálisis con amplificación desde precursores aquirales.

Henri Kagan y el Descubrimiento de los Efectos No Lineales

Hasta mediados de la década de 1980, la comunidad química daba por sentado una regla proporcional en la que si preparabas un catalizador quiral con un 30% de pureza (30% de exceso enantiomérico), obtendrías como máximo un 30% de pureza en el producto final, una relación lineal (1:1).

Sin embargo, en 1986, el químico francés **Henri B. Kagan** cuestionó este dogma. Kagan analizó la estructura tridimensional de los catalizadores metálicos y razonó que los átomos de metal a menudo se unen a dos moléculas de ligando quiral al mismo tiempo. Si la mezcla de ligando no es 100% pura, se pueden formar tres tipos de complejos en la solución: **[R+R], [L+L] y el complejo mixto o heteroquiral [R+L]**.

Kagan descubrió que el complejo heteroquiral [R+L] es químicamente inactivo o reacciona a una velocidad muy lenta. En la práctica, este complejo actuaría atrapando a la especie enantiomérica minoritaria, retirándola de la reacción y dejando que los complejos homoquirales [R+R] generen un producto con una pureza muy superior a la del propio catalizador. Kagan denominó a este fenómeno efectos no lineales y demostró así la segunda regla de Frank.





La curva no lineal de Kagan (1986). Un catalizador con moderada pureza (25% ee) genera un producto con alta pureza (~56% ee) gracias a la desactivación del complejo heteroquiral R+L.

Kenso Soai y la Reacción Autocatalítica

En 1995, el químico japonés **Kenso Soai** diseñó una reacción química utilizando pirimidil alcanoles donde el producto sintetizado actuaba como un catalizador muy eficiente para su propia producción. Al comenzar la reacción con un pequeño exceso del 2% de uno de los enantiómeros, el sistema se autorreforzó hasta alcanzar un 87% de pureza.

Pero Soai quiso mejorar mucho más el porcentaje y, en 2003, partió de reactivos completamente simétricos y aquirales, sin añadir ningún catalizador inicial. Debido a imperceptibles fluctuaciones estadísticas a nivel cuántico o térmico, con una asimetría inicial estimada en tan solo un 0.00005%, la reacción disparó una cascada autocatalítica. Tras alimentar la reacción consecutivamente en tres ciclos con uno de los enantiómeros, el producto alcanzó una pureza enantiomérica superior al 99.5% (e incluso del 99.99%). Nadie, fuera de la propia vida biológica, había logrado jamás semejante hazaña.

Gracias a los descubrimientos de Kagan y Soai, galardonados con el Premio Nobel de Química de 2026, disponemos de las herramientas necesarias para explicar cómo crear la homoquiralidad, como así ocurre en los seres vivos, y para fabricar fármacos puros, agroquímicos de bajo impacto ambiental y materiales inteligentes de nueva generación.

Saber más: Nobelprize.org

QONECTA CON EL PREMIO NOBEL DE MEDICINA 2026

LA POSIBILIDAD DE CONTROLAR LAS NEURONAS CON LUZ

Jorge Ayuso Haro

Delegación de Estudiantes de la Facultad de Ciencias Químicas

¿Y si pudiéramos encender y apagar determinadas neuronas del cerebro utilizando únicamente luz? Aunque pueda parecer una idea sacada de una película de ciencia ficción, hace ya algunos años que los investigadores son capaces de hacerlo, y, por ello, el Premio Nobel de Fisiología o Medicina de 2026 ha reconocido a tres científicos cuya labor ha permitido convertir esta posibilidad en una de las herramientas más importantes de la neurociencia moderna.

El pasado 5 de octubre, la Asamblea Nobel del Instituto Karolinska anunció que el galardón recaía en **Karl Deisseroth**, **Peter Hegemann** y **Georg Nagel**, por sus descubrimientos relacionados con los **canales iónicos activados por luz y la optogenética**. Se trata de una técnica que permite controlar la actividad de determinadas células mediante estímulos luminosos y que ha cambiado profundamente nuestra manera de investigar el funcionamiento del sistema nervioso.

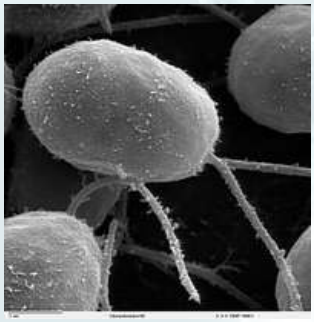


Ganadores del premio nobel de química, en orden de aparición: Karl Deisseroth (EEUU), Peter Hegemann (Alemán) y Georg Nagel (Alemán).

Sin embargo, lo verdaderamente interesante de esta historia es que sus orígenes no se encuentran en el estudio del cerebro humano, sino en algo aparentemente mucho más sencillo: un **alga unicelular**.

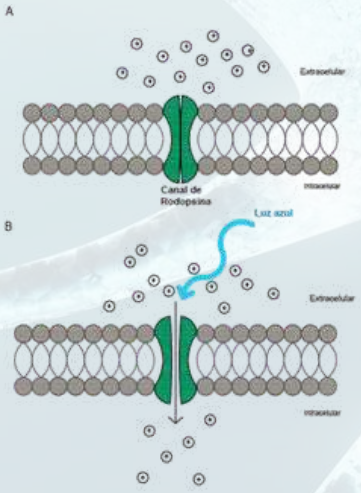
Todo comenzó con un alga que buscaba la luz

Para comprender la importancia de este descubrimiento tenemos que remontarnos a las investigaciones de Peter Hegemann y Georg Nagel sobre *Chlamydomonas*, un género de algas verdes unicelulares capaces de desplazarse en respuesta a la luz.



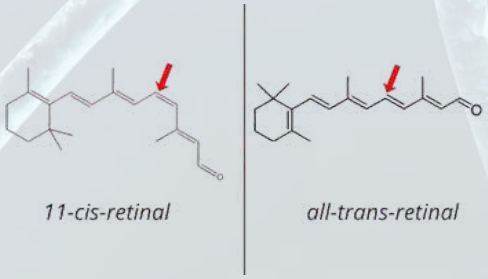
Chlamydomonas, imagen tomada con un microscopio de barrido (SEM)

Este comportamiento, conocido como **fototaxis**, despertó una pregunta que, aunque sencilla en apariencia, escondía un mecanismo molecular extraordinario: *¿cómo puede un organismo detectar la luz y transformar esa información en una respuesta celular*? La respuesta se encontraba en unas proteínas de membrana llamadas **canalrodopsinas** (*channelrhodopsins* en inglés) [1,2]. Estas proteínas tienen una propiedad muy particular: cuando reciben luz de una longitud de onda adecuada, experimentan cambios estructurales que permiten la apertura de un canal por el que pueden atravesar determinados iones.



Mecanismo de actuación de las canalrodopsinas

Aquí es donde la química y la bioquímica adquieren un papel fundamental. Las canalrodopsinas contienen un **cromóforo derivado del retinal**, una molécula relacionada con la vitamina A. Cuando este cromóforo absorbe un fotón, experimenta una fotoisomerización que desencadena una serie de cambios conformacionales en la proteína. Como consecuencia, el canal se abre y permite el paso de iones a través de la membrana celular.



Cambio conformacional del retinal por acción de la luz

De una proteína vegetal al funcionamiento del cerebro

Para entender el siguiente paso debemos recordar cómo se comunican nuestras neuronas. Las células nerviosas transmiten información mediante señales eléctricas que dependen, entre otros factores, de las diferencias de concentración de determinados iones a ambos lados de su membrana. El movimiento de sodio, potasio, calcio y otros iones a través de canales específicos modifica el potencial eléctrico de la célula y permite generar los conocidos **potenciales de acción**.

Durante mucho tiempo, estudiar qué función desempeñaba una neurona concreta dentro de un circuito cerebral resultaba extraordinariamente difícil. Los investigadores podían registrar su actividad o estimular regiones del cerebro, pero identificar con precisión qué células intervenían en un comportamiento determinado suponía un reto considerable. Fue entonces cuando **Karl Deisseroth** y su equipo demostraron que las canalrodopsinas podían introducirse en neuronas de mamíferos para controlar su actividad mediante luz.

En 2005 publicaron un trabajo [3] que demostró que era posible provocar señales eléctricas en estas células utilizando proteínas sensibles a la iluminación. La idea era tan ingeniosa como poderosa: si una neurona expresa una canalrodopsina y recibe luz de la longitud de onda apropiada, el canal se abre, permite el movimiento de iones y puede provocar su despolarización hasta alcanzar el umbral necesario para generar un potencial de acción.

En otras palabras, una señal luminosa puede transformarse en una respuesta eléctrica dentro de una neurona. Con el desarrollo posterior de otras herramientas optogenéticas, también se hizo posible inhibir la actividad neuronal. De esta manera, los investigadores comenzaron a disponer de una especie de interruptor molecular con el que activar o silenciar poblaciones celulares específicas.

¿Por qué este descubrimiento es tan importante?

Nuestro cerebro contiene miles de millones de neuronas conectadas entre sí mediante redes extraordinariamente complejas. Gracias a ellas podemos recordar, aprender, movernos, experimentar emociones o interpretar lo que sucede a nuestro alrededor.

El problema es que observar qué neuronas se activan durante una determinada actividad no significa necesariamente que sean las responsables de ella. Imaginemos que un investigador observa que un grupo de neuronas presenta una elevada actividad cuando un animal experimenta miedo. Esta observación permite establecer una relación, pero no demuestra que esas neuronas sean las que desencadenan la respuesta.

La **optogenética** permite ir un paso más allá. Mediante herramientas genéticas, los investigadores pueden hacer que determinadas poblaciones neuronales expresen proteínas sensibles a la luz. Posteriormente, al iluminarlas de manera controlada, pueden modificar su actividad y estudiar las consecuencias.

Si la activación de un conjunto concreto de neuronas provoca un comportamiento, o si su inhibición impide que se produzca, es posible obtener evidencias mucho más sólidas sobre su participación en ese proceso. Esta capacidad de pasar de la simple observación a la intervención experimental ha supuesto un cambio fundamental en la investigación del sistema nervioso. Además, la técnica ofrece una gran precisión temporal. Las neuronas funcionan mediante señales que pueden producirse en cuestión de milisegundos, por lo que disponer de una herramienta capaz de actuar a escalas temporales similares resulta especialmente valioso.

Gracias a estos avances, hoy es posible investigar con un nivel de detalle antes difícilmente imaginable los circuitos neuronales relacionados con la memoria, el aprendizaje, el movimiento, el sueño o las emociones.

Una nueva esperanza para comprender las enfermedades neurológicas

Las aplicaciones de la optogenética no se limitan al estudio del funcionamiento normal del cerebro. También ha abierto nuevas posibilidades para investigar enfermedades en las que la actividad de determinados circuitos neuronales se encuentra alterada.

En patologías como la enfermedad de Parkinson, la epilepsia o determinados trastornos psiquiátricos, comprender qué neuronas participan en los síntomas y cómo se comunican entre ellas constituye un paso esencial para desarrollar estrategias terapéuticas más eficaces. La optogenética permite estudiar estos circuitos en modelos experimentales y comprobar cómo cambia su funcionamiento cuando se activan o inhiben poblaciones celulares específicas.

Uno de los campos que más interés ha despertado es la **recuperación de la visión**. En determinadas enfermedades degenerativas de la retina, los fotorreceptores responsables de captar la luz dejan de funcionar correctamente. Algunas estrategias experimentales buscan introducir proteínas fotosensibles en otras células retinianas que todavía permanecen viables, con el objetivo de recuperar parcialmente la capacidad de responder a estímulos luminosos.

Aunque existen investigaciones y ensayos clínicos prometedores, es importante recordar que muchas de estas aplicaciones siguen en desarrollo. La optogenética todavía no constituye un tratamiento rutinario para la mayoría de las enfermedades neurológicas.

Entre los desafíos pendientes se encuentran la introducción segura y selectiva de los genes que codifican estas proteínas, la administración de luz a los tejidos adecuados y la evaluación de sus efectos a largo plazo.

Precisamente por ello, este Premio Nobel no reconoce únicamente una posible aplicación médica, sino el descubrimiento de un mecanismo que ha permitido desarrollar toda una nueva forma de investigar.

La química también está detrás de este Premio Nobel

Aunque el galardón pertenece a la categoría de Fisiología o Medicina, resulta difícil comprender la optogenética sin recurrir a conceptos fundamentales de química, bioquímica y biología molecular.

En el centro de todo el proceso encontramos una molécula capaz de absorber energía lumínica, una proteína cuya estructura cambia como consecuencia de esa absorción y un movimiento de iones que modifica las propiedades eléctricas de la membrana celular.
La interacción entre la radiación electromagnética y la materia, la fotoisomerización de un cromóforo, las relaciones entre estructura y función de las proteínas y los gradientes electroquímicos son algunos de los principios que explican el funcionamiento de esta tecnología.

También ha sido indispensable el desarrollo de técnicas de ingeniería genética que permiten introducir los genes correspondientes en células específicas, así como el diseño de variantes proteicas con propiedades distintas. Algunas responden a diferentes longitudes de onda, mientras que otras permiten modificar la intensidad o la duración de la respuesta celular.

Todo ello demuestra que los avances científicos más importantes rara vez pertenecen a una única disciplina. La optogenética es el resultado de combinar conocimientos de química, física, biología molecular, genética, ingeniería y medicina. Y quizá sea precisamente esa combinación la que explique buena parte de su éxito.

El valor de investigar sin conocer todavía todas las respuestas

Hay otro aspecto de este Premio Nobel que merece una atención especial: **la importancia de la investigación básica**. Cuando comenzaron los estudios sobre la respuesta a la luz de unas algas unicelulares, el objetivo no era desarrollar una herramienta para estudiar enfermedades neurológicas. Los investigadores intentaban comprender un fenómeno biológico que despertaba su curiosidad científica.

Durante años, el trabajo consistió en identificar proteínas, estudiar sus propiedades, comprender cómo respondían a la luz y demostrar que podían funcionar en otros sistemas celulares.

Fueron necesarias numerosas investigaciones, desarrolladas por distintos grupos científicos, para transformar aquel conocimiento inicial en una tecnología aplicable al estudio del cerebro.

Esta historia recuerda que no siempre es posible anticipar las consecuencias de una investigación. En ocasiones, un descubrimiento que parece limitado a un organismo muy concreto acaba proporcionando respuestas a problemas completamente diferentes. También pone de manifiesto que los grandes avances no suelen surgir de un único experimento. Detrás de cada resultado hay años de trabajo, hipótesis que deben comprobarse, dificultades técnicas, experimentos que no funcionan y científicos que continúan buscando respuestas incluso cuando todavía no existe una aplicación evidente.

El reconocimiento a Deisseroth, Hegemann y Nagel es también una oportunidad para valorar la contribución de todas las personas que, desde diferentes laboratorios y disciplinas, han participado en el desarrollo de la optogenética.

Un descubrimiento que cambia nuestra manera de hacer preguntas

La importancia de la optogenética no reside únicamente en que permita activar una neurona mediante luz. Su verdadero alcance está en las preguntas que ahora podemos plantearnos.

¿Qué células participan en la formación de un recuerdo? ¿Cómo se coordinan los circuitos responsables de nuestros movimientos? ¿Qué ocurre cuando una red neuronal deja de funcionar correctamente? ¿Podemos identificar con mayor precisión los mecanismos que intervienen en determinadas enfermedades?

Muchas de estas cuestiones llevan décadas ocupando a la comunidad científica. La optogenética no las ha resuelto todas, pero ha proporcionado una herramienta extraordinaria para investigarlas.

El Premio Nobel de Medicina de 2026 reconoce, por tanto, mucho más que una técnica experimental. Reconoce una nueva manera de comprender el sistema nervioso y una demostración de hasta dónde puede llegar la investigación cuando se combinan la curiosidad, el conocimiento y la colaboración entre disciplinas. Resulta especialmente llamativo pensar que una parte importante de esta historia comenzó intentando averiguar cómo un alga era capaz de orientarse hacia la luz. Hoy, aquellas investigaciones nos permiten estudiar los circuitos que intervienen en nuestros recuerdos, emociones y comportamientos.

Y aunque todavía queda mucho por descubrir, este avance nos recuerda algo fundamental: *a veces, para comprender los mecanismos más complejos de la vida, basta con empezar haciéndose una buena pregunta sobre algo aparentemente sencillo.*

Saber más:

1. Deisseroth, K. *Optogenetics*. Nat Methods 8, 26–29 (2011).
2. Lief Fenno, Ofer Yizhar, Karl Deisseroth. 2011. *The Development and Application of Optogenetics*. Annual Review of Neuroscience 34:389-412.
3. Boyden, E., Zhang, F., Bamberg, E. et al. *Millisecond-timescale, genetically targeted optical control of neural activity*. Nat Neurosci 8, 1263–1268 (2005).

EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA: LA REGLA DEL JUEGO PARA DESFOSILIZAR LA INDUSTRIA QUÍMICA

David Lorenzo Fenández

Dpto. Ingeniería Química y de Materiales

Cuando una empresa anuncia un nuevo proceso "*verde*", un bioplástico, un disolvente renovable, un catalizador que sustituye a uno metálico, la pregunta que rara vez se hace en los titulares es: ¿*verde* comparado con qué, y medido cómo? Un material biodegradable puede requerir más energía para fabricarse que el plástico convencional que sustituye; un proceso que reduce residuos puede disparar el consumo eléctrico *aguas arriba*. La intuición no basta para responder si una alternativa es realmente mejor. Para eso existe el **Análisis de Ciclo de Vida** (ACV, o LCA por sus siglas en inglés), la metodología que permite cuantificar el impacto ambiental de un producto o proceso desde la extracción de materias primas hasta su disposición final, o lo que se conoce como el enfoque "*de la cuna a la tumba*".

Qué es y cómo se construye un ACV

El marco normativo de referencia del ACV son las normas ISO 14040 y 14044, que estructuran el **análisis en cuatro etapas**. Primero **se define el objetivo y alcance**: qué se compara, con qué unidad funcional (por ejemplo, "tratar 1 m³ de agua contaminada" o "producir 1 kg de polímero") y dónde están las fronteras del sistema. Después se construye el **inventario del ciclo de vida (ICV)**, que recopila todas las entradas, desde la energía necesaria, agua, hasta los reactivos y salidas, que contemplan las emisiones, residuos, subproductos de cada etapa del proceso, para su cuantificación es necesario resolver los balances de materia y energía. La tercera fase requiere la **evaluación de impacto**, traduce ese inventario a categorías comprensibles, como son la huella de carbono, eutrofización, toxicidad humana, agotamiento de recursos abióticos. Finalmente, la interpretación pone esos resultados en contexto, **identifica los puntos críticos** ("*hotspots*") y permite comparar escenarios.

El resultado no es un número aislado, sino un perfil de impactos que casi siempre revela algo incómodo, en la inmensa mayoría de los procesos químicos el consumo energético domina el balance ambiental por encima de cualquier otro factor.

La energía como eje central del impacto

La industria química es, junto con la siderurgia y el cemento, uno de los sectores industriales más intensivos en energía. Separaciones por destilación, reacciones a alta presión o temperatura, secado, regeneración de adsorbentes o catalizadores, todas estas operaciones consumen energía térmica o eléctrica cuya huella depende críticamente del mix energético empleado.

Un mismo proceso puede tener una huella de carbono radicalmente distinta según se alimente con gas natural, electricidad de red o energía renovable, lo que convierte la elección energética en la palanca de desfosilización más potente y, a la vez, en la fuente de incertidumbre más relevante de cualquier ACV industrial.

Esto tiene una consecuencia práctica importante para quien diseña o evalúa procesos, antes de optimizar rendimientos de reacción o selectividades, conviene preguntarse cuánta energía consume cada etapa y de dónde procede. Es habitual encontrar que una sola operación, por ejemplo, la regeneración térmica de un adsorbente, la compresión de un gas, la destilación de un disolvente, pueden concentrar más del 50 % de la huella total del proceso, mientras que el resto de las etapas, aunque numerosas, apenas contribuyen.

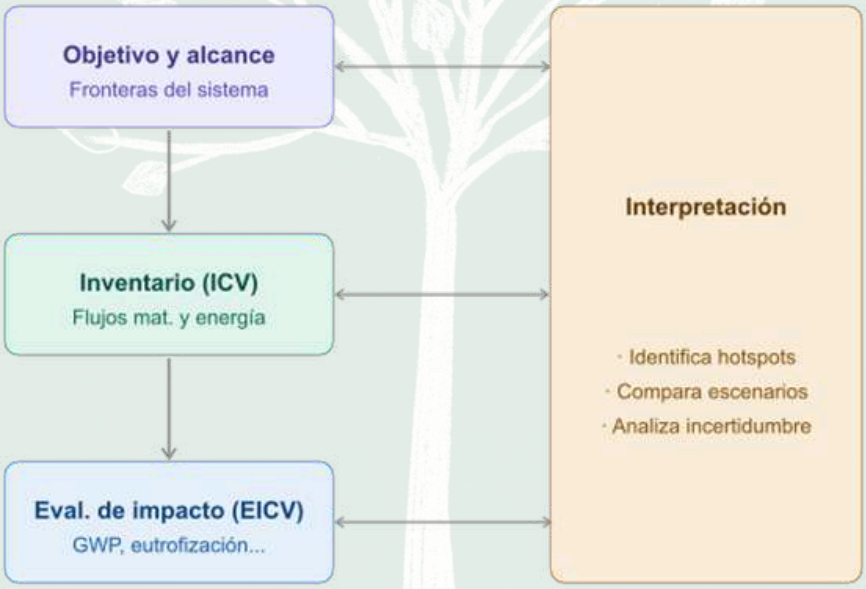


Figura 1: Etapas del ACV recogidas en las normas ISO 14040/14044.

Un ejemplo del laboratorio a la planta

Un caso ilustrativo es la **mejora de biogás (“*upgrading*”) mediante absorción química con monoetanolamina (MEA)**, un proceso que separa el CO_2 del metano para producir biometano inyectable en red o utilizable como combustible vehicular. Frente a otras tecnologías de *upgrading* (membranas o lavado con agua a presión), la absorción con aminas ofrece pureza muy alta del biometano, lo que a primera vista la hace atractiva ambientalmente: menos pérdidas de metano (un gas de efecto invernadero mucho más potente que el CO_2) significan menor huella climática del producto final. Sin embargo, el ACV del proceso completo muestra que esa ventaja tiene un coste energético oculto: la regeneración del disolvente, es decir, el calentamiento de la corriente de MEA en el calderín (*reboiler*) de la columna de desorción (*stripping*) para liberar el CO_2 absorbido y recuperar el disolvente, es la etapa que domina, con diferencia, el consumo energético y, por tanto, la huella de carbono del sistema, muy por encima de la compresión del biogás de entrada o del bombeo de las corrientes líquidas.

Si esa energía de regeneración procede de una caldera de gas natural en lugar de aprovechar calor residual de la propia planta de biogás, el balance neto de emisiones evitadas puede reducirse drásticamente, e incluso anularse en plantas pequeñas. La lectura para el diseño del proceso es clara: el verdadero margen de mejora ambiental no está en aumentar la pureza del metano más allá de lo que exige la red, sino en **reducir la carga térmica del calderín (*reboiler*)**, optimizando la concentración de amina, la cantidad de vapor generada para asegurar la separación o, sobre todo, integrando calor residual disponible *in situ*.

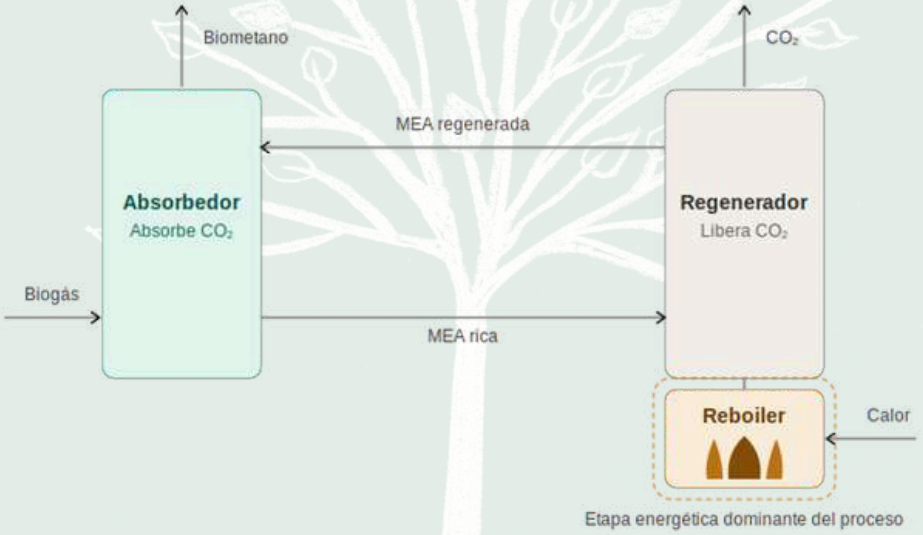


Figura 2: Proceso esquemático de absorción de CO_2 con MEA en la producción de biometano.

¿Por qué esto importa ahora?

La presión regulatoria está convirtiendo el ACV de ejercicio académico en requisito de mercado. La directiva europea de informes de sostenibilidad corporativa (CSRD), el Pacto Verde Europeo y la revisión de REACH empujan hacia el ecodiseño y la cuantificación obligatoria de huellas ambientales en sectores cada vez más amplios. A esto se suma la demanda de las propias cadenas de suministro, cada vez más clientes industriales exigen datos de ACV verificables antes de aceptar un proveedor o una materia prima. Para la industria química, esto significa que el ACV deja de ser una herramienta de comunicación y pasa a ser un **criterio de diseño** desde las primeras etapas de desarrollo del proceso, integrado junto con el análisis técnico-económico.

Las limitaciones que conviene no olvidar

El ACV no es una caja negra infalible y conviene manejarlo con sentido crítico. Los resultados son muy sensibles a dónde se trazan las fronteras del sistema, por ejemplo, incluir o excluir el transporte, la fabricación de equipos o el fin de vida puede cambiar sustancialmente las conclusiones.

La calidad del inventario depende de **bases de datos genéricas** (como Ecoinvent) que no siempre reflejan las condiciones reales de una planta concreta, especialmente para tecnologías emergentes con poco histórico. También de la ponderación entre categorías de impacto ¿qué pesa más, el cambio climático o la toxicidad humana? Implica decisiones de valor que no son puramente técnicas. Por todo ello, un buen ACV se acompaña siempre de un **análisis de sensibilidad e incertidumbre**, y sus conclusiones deben leerse como una comparación relativa entre escenarios, no como una verdad absoluta.

Hacia dónde va el ACV en química

Dos tendencias están cambiando la forma de hacer ACV en el sector químico. La primera es la **integración con herramientas de aprendizaje automático y simulación de procesos** (como BioSTEAM o Aspen), que permiten generar inventarios de ciclo de vida de forma automática a partir de balances de materia y energía, acelerando enormemente la evaluación de alternativas de diseño en fase temprana. La segunda es el **ACV dinámico**, que sustituye los factores de impacto fijos por series temporales, por ejemplo, la evolución prevista del mix eléctrico hasta 2040, evitando así penalizar o premiar injustamente tecnologías cuya huella real depende de cómo se desfosilice la red en las próximas décadas.

En definitiva, el ACV no sustituye al criterio técnico ni económico, pero sí obliga a hacer explícito algo que de otro modo queda en la intuición: ¿de dónde viene realmente el impacto ambiental de un proceso químico? Y en la inmensa mayoría de los casos, la respuesta empieza por la energía.



QONECTA CON JAMES DEWAR
EL RETO DE ENFRIAR LO IMPOSIBLE

Jorge Ayuso

Delegación de Estudiantes Química UCM

El 20 de septiembre de 1842 nacía en Kincardine, Escocia, uno de esos científicos cuya trayectoria resulta difícil de encasillar en una única disciplina. Su nombre era **James Dewar** y, aunque probablemente muchas personas no lo relacionen inmediatamente con la Química, es posible que hayan utilizado uno de sus inventos esta misma mañana: el recipiente que hoy conocemos como **termo**.

Dewar fue químico y físico, y dedicó buena parte de su carrera a estudiar el comportamiento de la materia a temperaturas extremadamente bajas. En una época en la que conseguir que un gas se convirtiera en líquido era todavía un auténtico desafío experimental, sus investigaciones contribuyeron de forma decisiva al desarrollo de la **criogenia**. El 20 de septiembre es, por tanto, una buena fecha para recordar a un científico que consiguió llevar la Química a temperaturas que, para la ciencia de su época, parecían casi inalcanzables.



James Dewar. Wikipedia.

Cuando enfriar un gas era un problema químico

Hoy estamos acostumbrados a encontrar gases almacenados en bombonas o líquidos criogénicos en cualquier laboratorio de investigación. Abrimos una botella de nitrógeno líquido y encontramos un líquido a unos -196 °C. Sin embargo, conseguir que un gas pase a estado líquido no es simplemente cuestión de introducirlo en un congelador.

La temperatura y la presión están directamente relacionadas con el estado físico de una sustancia. Para conseguir licuar un gas hay que eliminar suficiente energía térmica y, dependiendo de la sustancia, alcanzar unas condiciones adecuadas de presión y temperatura. El problema es que algunos gases son especialmente difíciles de licuar porque requieren temperaturas extremadamente bajas.

QONECTA



Durante el siglo XIX, científicos como **Michael Faraday** habían conseguido licuar determinados gases, pero todavía existían gases que se resistían a los métodos disponibles. Se hablaba incluso de gases permanentes, porque parecía imposible convertirlos en líquido mediante las técnicas conocidas. El hidrógeno era uno de ellos.

El hidrógeno líquido

Dewar centró buena parte de sus investigaciones en este problema. Para alcanzar temperaturas cada vez más bajas fue necesario desarrollar sistemas de refrigeración más eficaces y, sobre todo, evitar que el calor del exterior volviera a calentar las sustancias que se intentaban enfriar. Finalmente, en 1898 Dewar consiguió producir hidrógeno líquido, convirtiéndose en la primera persona en lograrlo. La investigación quedó recogida en un trabajo publicado ese mismo año en el *Journal of the Chemical Society*, dedicado a la licuefacción del hidrógeno y el helio.

El hidrógeno líquido se encuentra aproximadamente a -253 °C. Para hacernos una idea, el agua se congela a 0 °C y el nitrógeno se evapora a -196 °C. Es decir, incluso después de trabajar con nitrógeno líquido todavía habría que reducir considerablemente la temperatura, concretamente bajar 57 °C, para mantener el hidrógeno en estado líquido. La importancia de conseguirlo no estaba únicamente en obtener una sustancia nueva en un recipiente. La posibilidad de trabajar con temperaturas tan bajas abrió la puerta al estudio de propiedades de la materia que hasta entonces no podían investigarse experimentalmente.

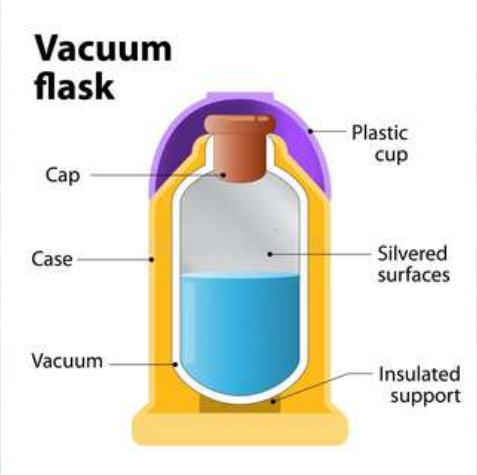
Y para poder hacer esos experimentos había otro problema: había que conseguir que el frío no desapareciera rápidamente.

El nacimiento del matraz Dewar

La solución desarrollada por Dewar fue un recipiente de doble pared en cuyo interior se hacía el vacío. Las superficies estaban además diseñadas para reducir la transferencia de calor por radiación. El resultado era un recipiente capaz de mantener durante mucho más tiempo una sustancia a baja temperatura.

El principio puede parecernos sencillo, pero tiene detrás varios conceptos de Física y Química. El vacío elimina prácticamente la conducción y la convección entre las dos paredes, mientras que las superficies reflectantes reducen la transferencia de energía mediante radiación. El llamado **matraz Dewar** se convirtió así en una herramienta fundamental para el trabajo criogénico. Con el paso del tiempo, el mismo principio llegó a una versión mucho más cotidiana: el termo que utilizamos para mantener caliente el café o fría una bebida. Es curioso que un recipiente diseñado originalmente para conservar sustancias a temperaturas extremadamente bajas terminara convirtiéndose en un objeto doméstico utilizado principalmente para conservar bebidas calientes.





Esquema del matraz Dewar. Dreamstime

Mucho más que un termo

El trabajo de Dewar no se limitó a la construcción de recipientes aislantes. Sus investigaciones sobre las bajas temperaturas contribuyeron al desarrollo de la criogenia, un campo que actualmente tiene aplicaciones en numerosos ámbitos científicos y tecnológicos.

El **nitrógeno líquido**, por ejemplo, se utiliza habitualmente para conservar muestras biológicas, enfriar equipos y realizar experimentos. El **helio líquido** permite alcanzar temperaturas todavía menores y es fundamental en determinadas tecnologías, como algunos sistemas de resonancia magnética y equipos basados en superconductividad.



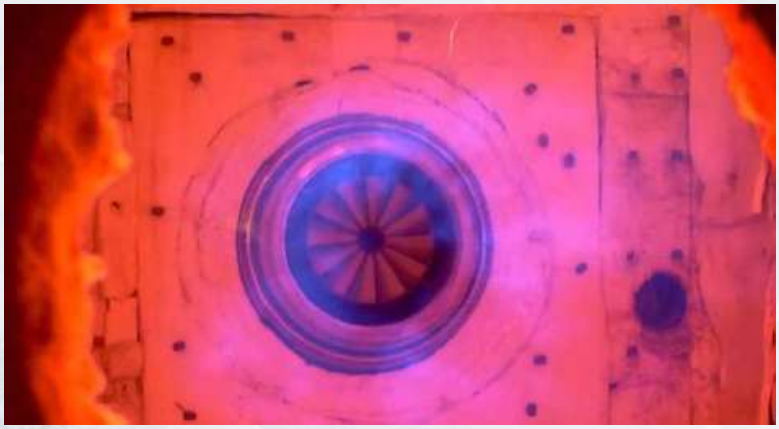
Equipo de RMN utilizado en medicina.



Levitación magnética presenciada en superconductores.

Incluso el hidrógeno líquido que Dewar consiguió producir a finales del siglo XIX tiene hoy una importancia tecnológica considerable. El **hidrógeno criogénico** puede utilizarse como combustible en determinados sistemas de propulsión espacial, donde la combinación de hidrógeno y oxígeno permite obtener una elevada cantidad de energía por unidad de masa, y cuyo producto de esa combustión es H_2O. Lo que comenzó como un problema experimental aparentemente muy concreto, ¿podemos convertir este gas en líquido?, terminó contribuyendo al desarrollo de una tecnología que actualmente encontramos en laboratorios, hospitales y sistemas aeroespaciales.





Reactor de combustión externa aeroespacial de H_2 y O_2

Cuando la Química llega al frío extremo

La historia de James Dewar resulta especialmente interesante porque muestra una característica habitual de la ciencia: muchas veces, para responder a una pregunta aparentemente sencilla, es necesario desarrollar nuevas herramientas.

Dewar no podía estudiar determinados gases si no conseguía enfriarlos lo suficiente. Para enfriarlos necesitaba mejorar los sistemas de refrigeración. Y para conservar esas temperaturas necesitaba un recipiente capaz de impedir que el calor del exterior entrara en contacto con la muestra. Cada problema llevó al siguiente.

Su trabajo también es un buen ejemplo de la relación que existe entre la Química y la Física. El estudio de los cambios de estado, la temperatura, la presión y el comportamiento de los gases pertenece a una zona en la que ambas disciplinas se encuentran constantemente.

Hoy, cuando utilizamos un termo para conservar nuestro café durante varias horas, estamos utilizando una tecnología cuyo origen está en aquellos experimentos con gases y temperaturas extremas. El objeto que tenemos en la cocina puede parecer muy sencillo, pero detrás de su idiosincrasia hay una idea científica que tiene más de un siglo.

El 20 de septiembre, fecha del nacimiento de James Dewar, puede servirnos para recordar precisamente eso, que muchos de los objetos cotidianos que utilizamos tienen detrás historias científicas mucho más profundas de lo que parece. Y que, a veces, para mantener algo caliente hay que empezar por aprender cómo conseguir que todo esté extremadamente frío.

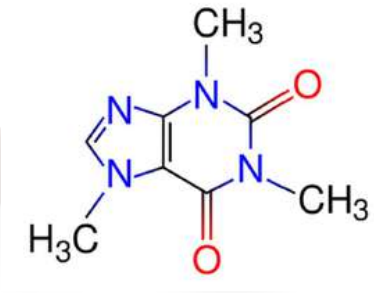


QONECTA CON EL CAFÉ
UNA TAZA DE CAFÉ ESTÁ LLENA DE REACCIONES

Jorge Ayuso

Delegación de Estudiantes Química UCM

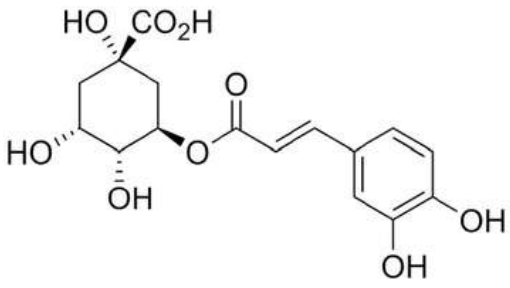
El 1 de octubre se celebró el **Día Internacional del Café**. Para muchos estudiantes universitarios, probablemente no haya mejor manera de empezar una mañana de clase que con una taza de café. Lo que quizá no pensamos mientras preparamos esa primera taza del día es que, antes de llegar a ella, el café ha pasado por una auténtica transformación química. El café que encontramos en nuestra taza no se parece demasiado a la semilla verde de la que procede. Entre ambos momentos han ocurrido reacciones químicas que han cambiado el color, el aroma, el sabor y la composición de los granos. Y todo comienza con el tostado.



Molécula de cafeína

Del grano verde al café

Los granos de café contienen cientos de compuestos diferentes. Entre ellos encontramos cafeína, azúcares, proteínas, lípidos, ácidos orgánicos y compuestos fenólicos como los ácidos clorogénicos. Algunos están presentes desde el principio y otros aparecen durante el procesamiento y el tostado.



Ejemplo de un compuesto de naturaleza: ácido clorogénico

Cuando el grano verde comienza a calentarse, aumenta progresivamente su temperatura y se producen transformaciones químicas. El agua que contiene se evapora, algunos compuestos comienzan a degradarse y aparecen otros nuevos.

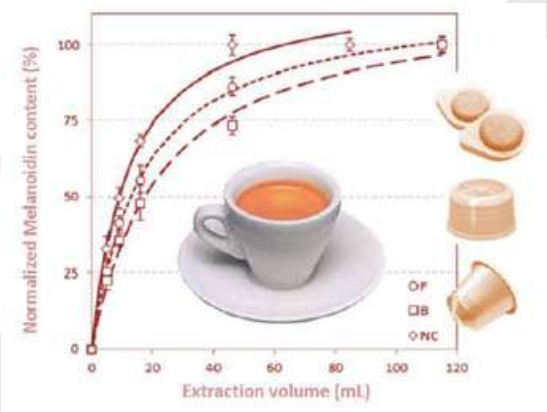
QONECTA



Uno de los procesos más importantes es la **reacción de Maillard**, la misma que se da cuando nos hacemos una tostada o la que ocurre en los vasos sanguíneos de personas con hiperglucemia severa originado por la enfermedad de la diabetes.

Se produce entre compuestos carbonílicos procedentes de azúcares y grupos amino presentes en aminoácidos libres o proteínas. Como resultado se genera una enorme variedad de moléculas responsables del color y de buena parte de los aromas característicos del café tostado.

El color marrón que asociamos al café tostado tampoco aparece por casualidad. Las reacciones de Maillard producen, entre otros compuestos, unas moléculas conocidas como **melanoidinas**, responsables de buena parte del color oscuro y de determinadas características sensoriales del café.



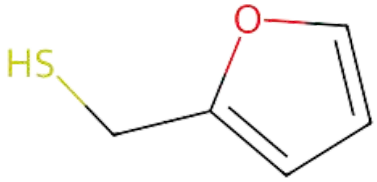
Relación entre el volumen de extracto de un café y las melanoidinas. ICTAN-CSIC

¿Y de dónde sale el olor?

El aroma del café es uno de los mejores ejemplos de hasta qué punto la Química puede transformar una materia prima. Durante el tostado se producen cientos de compuestos volátiles diferentes. Algunos proceden de la degradación de azúcares, otros de aminoácidos y otros de la transformación de los ácidos presentes en el grano.

Uno de los compuestos asociados al característico aroma del café es el **2-furfuriltiol**, una molécula que contiene azufre y que presenta un olor muy intenso incluso en concentraciones muy pequeñas. No es, evidentemente, la única responsable del aroma del café: la sensación que tenemos al oler una taza es el resultado de una mezcla extraordinariamente compleja de moléculas.

Por eso dos cafés pueden tener aromas completamente diferentes aunque procedan de la misma especie. El origen del grano, el tratamiento que haya recibido y, especialmente, el grado de tostado modifican las moléculas que terminan llegando a nuestra taza.



2-furfuriltiol



La cafeína no es toda la historia

Cuando hablamos de café, probablemente el primer compuesto que nos viene a la cabeza sea la **cafeína**. Su estructura pertenece al grupo de las metilxantinas y es una de las moléculas más conocidas de esta bebida. Pero hay algo curioso: la cafeína pura tiene un sabor extremadamente amargo y, sin embargo, una taza de café no sabe simplemente a cafeína.

Un estudio publicado en 2026 en el *Journal of Agricultural and Food Chemistry* [1,2] ha investigado precisamente esta cuestión. Los investigadores comprobaron que determinadas moléculas presentes en el café pueden reducir la percepción del sabor amargo de la cafeína. Entre ellas se encuentran las melanoidinas generadas durante el tostado. Los experimentos mostraron que, cuando la cafeína se encontraba junto con determinadas moléculas del café, la percepción de su amargor disminuía considerablemente. Los investigadores plantean que la cafeína puede interactuar con las melanoidinas formando complejos que dificultan su interacción con los receptores del sabor amargo presentes en nuestra lengua. Es decir, incluso la percepción de una taza de café depende de interacciones entre moléculas.

La importancia del tostado

No todos los cafés se tuestan de la misma manera. El tiempo y la temperatura del proceso modifican la composición química del grano y, por tanto, las características de la bebida final. Un tostado más intenso favorece determinadas reacciones y modifica la cantidad de numerosos compuestos. Estudios mediante técnicas como la resonancia magnética nuclear han permitido seguir cómo cambian diferentes moléculas durante el proceso. Por ejemplo, la sacarosa y determinados ácidos clorogénicos disminuyen durante el tostado, mientras que aparecen o aumentan otros compuestos derivados de esas transformaciones.

Esto explica por qué un café de tueste claro puede presentar una acidez y unos aromas diferentes de los de uno de tueste oscuro. No se trata únicamente de una cuestión de color: estamos hablando de composiciones químicas diferentes. Además, la cafeína presenta una estabilidad térmica relativamente elevada en comparación con otros componentes del grano, por lo que su cantidad no cambia de la misma manera que la de muchos otros compuestos durante el tostado.

De esta forma, también podemos aclarar una de las confusiones más habituales en torno al café. En muchas cápsulas, los números del 1 al 12 no indican una mayor o menor cantidad de cafeína, sino que hacen referencia principalmente a la intensidad del café, relacionada con factores como el grado de tueste y el perfil del producto. Por ello, una cápsula con intensidad 1 no tiene necesariamente menos cafeína que otra con intensidad 12. El número que aparece en el envase no permite determinar por sí solo la cantidad de cafeína. Se necesitarían técnicas como HPLC Ms-Ms o RMN-H.



Y después llega el agua

Una vez tostado y molido el café todavía queda un paso fundamental: preparar la bebida. Aquí vuelve a aparecer la Química. Cuando ponemos el café en contacto con agua caliente, diferentes moléculas pasan desde las partículas sólidas al agua. No todas lo hacen con la misma facilidad. Su solubilidad, polaridad, tamaño molecular, temperatura del agua y tiempo de contacto influyen en qué compuestos terminan en nuestra taza. Por eso preparar café también es, en cierto modo, realizar una extracción química.

La molienda tiene importancia porque modifica la superficie de contacto entre el café y el agua. Una molienda más fina ofrece una mayor superficie disponible para la extracción, mientras que una molienda más gruesa la reduce. La temperatura y el tiempo de contacto también cambian el resultado final.

Esto explica por qué no sabe igual un café preparado en una cafetera *espresso*, uno filtrado o uno preparado mediante una cafetera de prensa. No estamos utilizando exactamente las mismas condiciones de extracción y, por tanto, tampoco estamos obteniendo la misma mezcla de compuestos.

Y qué ocurre con los amantes del café pero no de la cafeína. La química también permite modificar el café antes incluso de prepararlo. Un ejemplo es la **descafeinización** mediante **CO_2 supercrítico**. En determinadas condiciones de presión y temperatura, el dióxido de carbono adquiere propiedades intermedias entre las de un líquido y un gas, lo que le permite penetrar en los granos de café y extraer selectivamente la cafeína. Después, al modificar las condiciones de presión, el CO_2 vuelve a separarse fácilmente, dejando atrás la cafeína extraída. Este proceso permite reducir considerablemente la cantidad de cafeína sin necesidad de utilizar disolventes orgánicos convencionales y conservando buena parte de los compuestos responsables del aroma y el sabor del café.

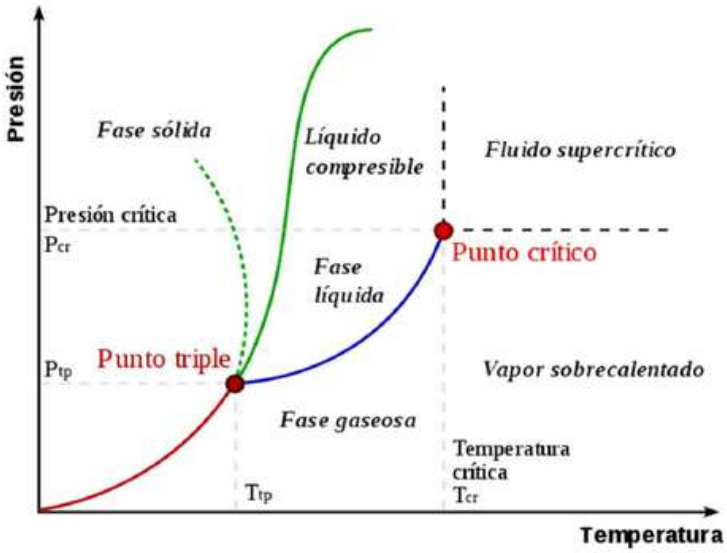


Diagrama de fases del CO_2



Una taza como pequeño laboratorio

Quizá lo más interesante del café sea que todos estos procesos ocurren antes de que demos el primer sorbo. Primero tenemos una semilla con una determinada composición química. Después aplicamos calor y provocamos reacciones que generan cientos de nuevas moléculas. Posteriormente trituramos el material y utilizamos agua para extraer selectivamente una parte de esos compuestos. El resultado final es una bebida cuya composición depende de una enorme cantidad de variables.

Así que la próxima vez que alguien diga que necesita un café para empezar a estudiar Química, quizá tenga más razón de la que piensa. En una sola taza podemos encontrar química orgánica, química física, ciencia de materiales, análisis instrumental y hasta química sensorial. La cafeína es solo una pequeña parte de la historia.

Este 1 de octubre, Día Internacional del Café, podemos aprovechar para mirar nuestra taza de otra manera. Porque detrás de su aroma, de su color y de ese sabor característico hay cientos de moléculas, numerosas reacciones y un proceso de extracción perfectamente explicable desde la Química. Y quizá esa sea una de las mejores cosas de nuestra disciplina: que incluso algo tan cotidiano como el café puede convertirse, cuando empezamos a preguntarnos qué está pasando realmente, en un pequeño laboratorio de Química.

SABER MÁS

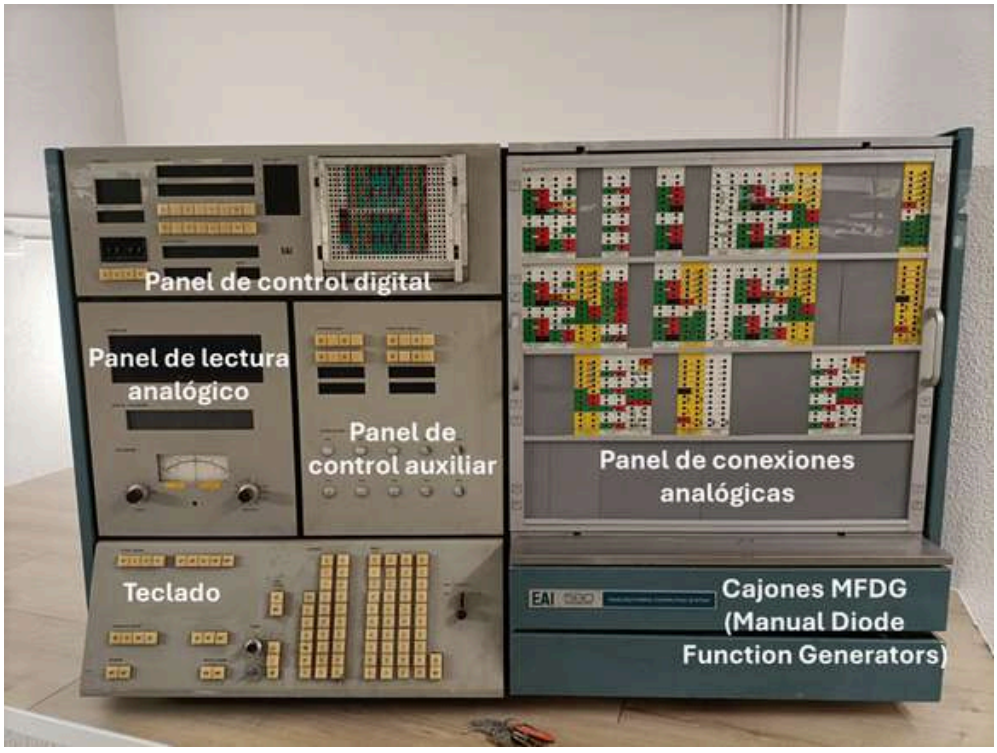
[1] Michael Gigl, Johanna Kreissl, Oliver Frank. Impact of Interactions between Melanoidins and Caffeine on the Bitter Taste of Coffee Beverages. *J. Agric. Food Chem.* 17 June 2026; 74 (23): 18243-18252.

[2] Gigl M, Kreissl J, Frank O. Impact of Interactions between Melanoidins and Caffeine on the Bitter Taste of Coffee Beverages. *J. Agric Food Chem.* 2026 Jun 17;74(23):18243-18252.

ACTIVIDADES DE DIVULGACIÓN

DOS NUEVOS INQUILINOS EN LA SALA ANA MARÍA LAJUSTICIA

Desde el pasado mes de septiembre disponemos en la Sala Interactiva Ana María Lajusticia de dos nuevos elementos decorativos. Uno de ellos es un ordenador, pero no uno cualquiera, sino uno que ya "*peina canas*" dado que es de principios de los años setenta del siglo pasado, probablemente de 1971 o 1972. ¡Vamos que supera de largo los cincuentena años! Cerca del 55% del PDI de la facultad no había nacido cuando este ordenador se instaló. Ni siquiera existía la Facultad de Ciencias Químicas como tal.





ACTIVIDADES DE DIVULGACIÓN

En el mundo actual en el que todo lo tenemos en un pequeño teléfono móvil, girar la mirada para contemplar cómo eran antes los equipos que ayudaban a resolver problemas de cálculo resulta cuando menos curioso. Evidentemente, lo primero que llama la atención es el tamaño…y el peso (no fue sencillo su traslado). Según nos contó **José Luis Sotelo** (Profesor Emérito del Dpto. de Ingeniería Química y de Materiales) el ordenador lo compró el **profesor Otero de la Gándara**, probablemente financiado con algún proyecto del ministerio. El ordenador se empleó para resolver ecuaciones diferenciales relacionadas con el control de procesos. Parece que se pudo usar en la realización de dos tesinas de licenciatura (algo parecido al TFM actual).

Buscando información hemos encontrado que se trata de un ordenador o computador, como lo llamaban entonces, de *Electronic Associates, Inc.* (EAI), el **modelo 580 *analog/hybrid computer system***. La empresa EAI fue fundada en 1945 en Nueva Jersey por Lloyd F. Christianson y Arthur L. Adamson, y se convirtió en uno de los principales proveedores de equipos informáticos analógicos de las décadas de 1950 y 1960. Llegaron a colaborar con la NASA en el desarrollo de sondas espaciales y satélites. Estos ordenadores eran muy útiles para la simulación de sistemas físicos. A medida que la tecnología digital se abrió paso se decantaron, a finales de 1960 y primeros de 1970, por sistemas híbridos con capacidades analógicas y digitales, centrándose, posteriormente, en sistemas digitales en la década de 1980. El 2 de junio de 1999 se declararon en quiebra, vendiéndose sus activos a otras empresas. Hay que destacar que EAI desarrolló los primeros dispositivos de cromatografía de gases-espectrometría de masas de cuadrupolo, siendo su principal negocio en la década de los sesenta.



El modelo 580 *analog/hybrid computer system* se definía como un computador de 10 voltios, de uso general y de escala media, y se empleaba principalmente para la simulación electrónica de sistemas físicos y la resolución de ecuaciones diferenciales complejas. Este sistema híbrido combinaba componentes analógicos con lógica digital paralela (compuertas lógicas y *flip-flops*… comentario: *confieso que no sé lo que significa esto*). Sus aplicaciones fueron muy variadas, y abarcaron desde el modelado del comportamiento dinámico de vehículos hasta el guiado de misiles y el estudio de sistemas mecánicos e hidráulicos. Asimismo, se utilizó para simular reacciones complejas y el flujo de fluidos por tuberías, así como para el control de plantas en las industrias petrolera y química.

ACTIVIDADES DE DIVULGACIÓN

En el ámbito de la investigación nuclear permitió abordar la simulación de la cinética de los reactores, y de otros fenómenos físicos descritos mediante ecuaciones matemáticas que requerían realizar cálculos iterativos a gran velocidad. Al ser un sistema híbrido se podía conectar a computadoras digitales de la época. El EAI 580 hacía los cálculos matemáticos pesados e instantáneos, y la computadora digital gestionaba el almacenamiento de datos, la lógica del problema y la impresión. No hay noticias de que este se emplease realmente como sistema híbrido en la facultad.

En este computador la programación se hacía físicamente empleando cables de parcheo (*patching*) en su panel. Se construía la ecuación matemática al interconectar los distintos bloques funcionales mediante cables para resolver la ecuación matemática.



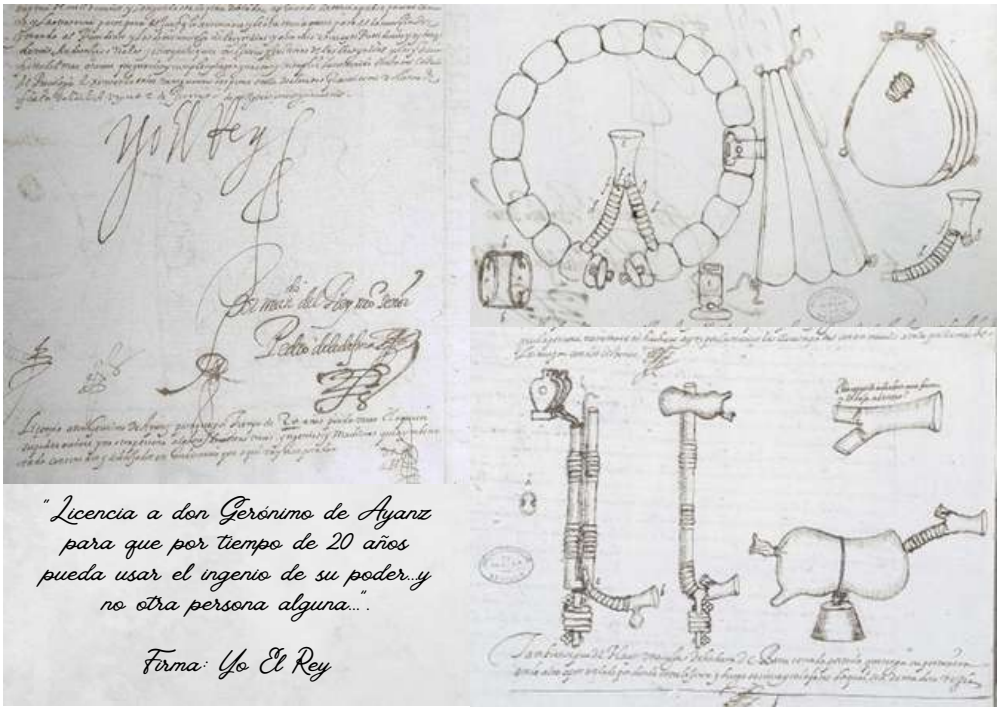
Ejemplo de funcionamiento de la computadora EAI 580 para generar una figura tridimensional en el osciloscopio (https://www.analogmuseum.org/english/examples/spiral/)

Parece ser que el ordenador no se usó mucho tiempo, ya se estaban desarrollando sistemas digitales más modernos y sobre todo estaba en funcionamiento, desde hacía unos años, el Centro de Cálculo, o Centro de Proceso de Datos como se le denomina actualmente. El centro entró en funcionamiento en 1966 gracias a un acuerdo entre la Universidad de Madrid (posteriormente Complutense de Madrid) y la empresa IBM, que cedió equipamiento, una calculadora IBM 7090 con capacidad para 250 tarjetas por minuto, otra calculadora IBM 1401 y una impresora que llegaba a las 600 líneas por minuto. El acuerdo entre IBM y la universidad se informó en Junta de la Facultad de Ciencias el 2 de noviembre de 1965 (a las siete de la tarde): "*...que existía el proyecto de instalar en su día un servicio con un computador electrónico IBM, cuya cesión a la Universidad se estaba gestionando en la actualidad...*". El contrato se firmó el 13 de enero de 1966, y el edificio, que fue proyectado por el arquitecto **Miguel Fisac**, se empezó a construir. La ubicación elegida no fue del agrado de varios profesores de la Facultad de Ciencias, tal como se recoge en el acta de la Junta de Facultad del 20 de enero de 1966 (a las siete de la tarde): "*...el sitio elegido les parece absolutamente inadecuado...*", "*...el lugar es inadecuado...por ser orientación exclusiva de poniente...lo hace inhabitable desde abril hasta octubre*", "*...habría que sacrificar una serie de árboles...*", de estas quejas el Decano indicó "*...que dará cuenta a la Superioridad...*". Estas quejas parece que surtieron efecto porque en Junta de Facultad del 23 de junio de 1966 (sí, ¡a las siete de la tarde!) se informó: "*...el sitio en el cual se localizará, el cual se ha desplazado ligeramente..., gracias a las observaciones que se hicieron en esta Junta de Facultad...*" Desde luego eran otros tiempos.

ACTIVIDADES DE DIVULGACIÓN

El otro elemento decorativo es una **escultura realizada en 3D que replica el Buzo del Pisuerga**. Sobre este personaje ya hablamos en el **boletín del mes de abril**. En 1602, el 2 de agosto para ser más exactos, en Valladolid, se produjo un hecho sin precedentes en la historia. Un hombre bajó al fondo del río Pisuerga, y permaneció allí durante una hora (más o menos), hasta que el monarca, Felipe III, le ordenó salir porque se aburría de que no pasase nada. La admiración inicial, al ver que no se ahogaba, se tornó en bostezo veraniego con el paso del tiempo. Fue la primera vez en la historia que un ser humano permaneció tanto tiempo debajo del agua. El sistema de buceo, incluyendo el traje, el sistema de bombeo de aire fresco y las válvulas de admisión y de escape, fue diseñado por Jerónimo de Ayanz y Beaumont, quién lo patentó (privilegio de invención) en 1606, junto a otros inventos. Toda esta información salió a la luz gracias a Nicolás García Tapia, quien encontró los documentos en el Archivo General de Simancas. En los legajos se indicaba sobre el traje "...***para que un hombre pueda estar debajo del agua cierto espacio de tiempo y sacar perlas o lo que se hubiera perdido en navíos que se han hundido u otras cosas***."

La ciudad de Valladolid rindió homenaje a este suceso en 2016 llevando a cabo una recreación de esta inmersión, lo más parecida a la original. Años después, hubo una exposición, que terminó en enero de 2024, titulada "*Homenaje al buzo de Pisuerga*" en la cual se expuso la escultura a escala humana. Esta fue realizada por Juan Villa (Prometeo Escultura), mientras que Kirolab 3D se encargó de preparar los archivos para su impresión en 3D. Los archivos 3D se liberaron para que todos los interesados pudieran descargarlos y hacer réplicas a diferentes tamaños (https://www.printables.com/es/model/660830-buzo-del-pisuerga). Estos archivos son los que ha empleado el profesor **David Lorenzo**, del Dpto. de Ingeniería Química y de Materiales, para realizar la escultura, en un tamaño algo inferior al original.

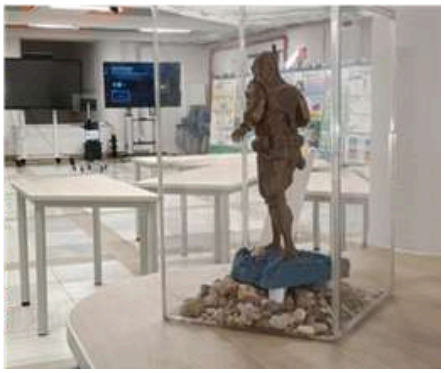


ACTIVIDADES DE DIVULGACIÓN









ACTIVIDADES DE DIVULGACIÓN

JORNADA SOBRE "TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y ECONOMÍA CIRCULAR

El 7 de octubre la Facultad de Ciencias Químicas acogió la jornada "**Transición energética y economía circular: Necesarias, pero ¿posibles?,** que contó con la participación de los expertos **Teresa Rasero Guerrero**, presidenta de FEIQUE, **Vicente Cortés Galeano,** cofundador y presidente de honor de INERCO y **David P. Serrano Granados**, catedrático de Ingeniería Química en la Universidad Rey Juan Carlos. Esta actividad ha sido la primera que celebra la cátedra de Economía Circular creada entre la Comunidad de Madrid y la Universidad Complutense, codirigida por profesoras de las facultades de Químicas y Ciencias Económicas y Empresariales.





ACTIVIDADES DE DIVULGACIÓN

"QUÉ SABEMOS DE..."
LOS FUEGOS ARTIFICIALES

Eduardo Díez Alcántara
Dpto. de Ingeniería Química y de Materiales

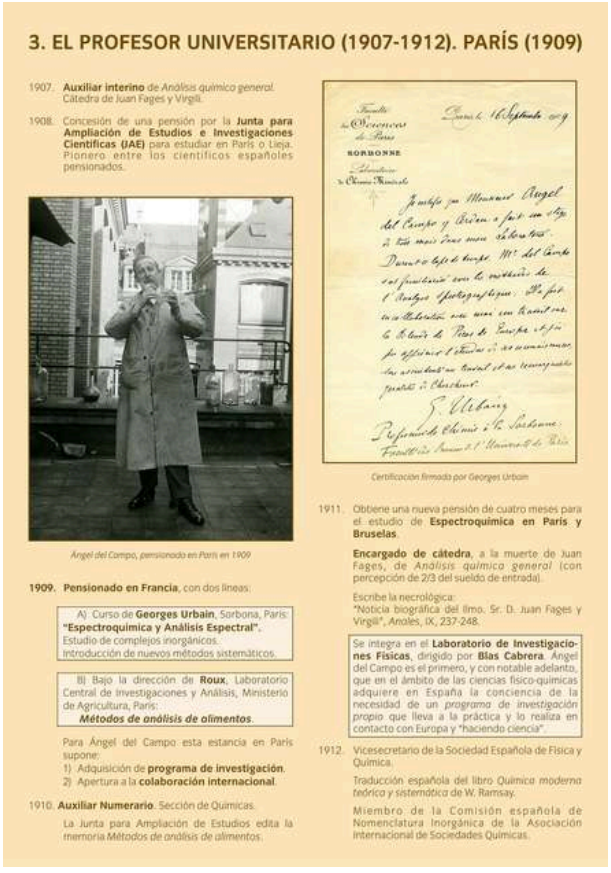
El pasado 20 de julio de 2026, el profesor Eduardo Díez, del Dpto. de Ingeniería Química y de Materiales intervino en el programa de radio “Más de uno” de Onda Cero, en el que habló de la química de los fuegos artificiales. Puedes escuchar su intervención en este enlace "Qué sabemos de..." a partir de las 2:39:00.





ACTIVIDADES DE DIVULGACIÓN

EXPOSICIONES EN LA BIBLIOTECA DE CIENICAS QUÍMICAS





Ángel del Campo: eminente químico español

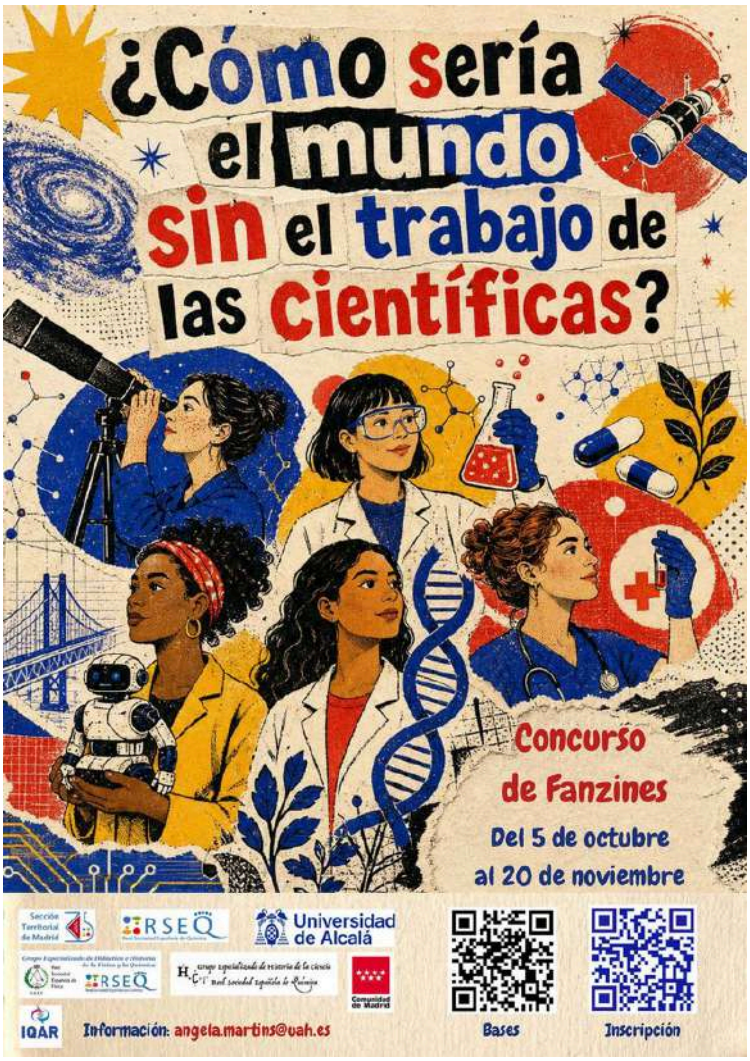
Recorrido por la vida de Ángel del Campo, Doctor en Ciencias y Catedrático de Análisis Químico de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central. Autor de numerosos trabajos de investigación, sobre todo acerca de espectroquímica, como "Estudio espectrográfico de las blendas" o "El espectro de bandas del silicio", y de química de los complejos del cromo.

En los orígenes. Arte, género, matemática y prehistoria

En la exposición se muestra cómo en el Paleolítico Superior nuestros antepasados comenzaron a registrar simbólicamente el pensamiento, una de las capacidades intelectuales características de nuestra especie. Se analizan las manifestaciones simbólicas "abstractas" conteniendo un tipo de registro no figurativo que, aparentemente, sólo podría entenderse desde una perspectiva sorprendente: desde una mirada "matemática", destacándose la interpretación de ese registro simbólico como anotaciones contables e, incluso, calendárico-astronómicas. Y, sobre todo, un análisis transdisciplinar de los hallazgos arqueológicos con plausible contenido matemático más singulares llevará a plantear una pregunta (y adelantar posibles respuestas): ¿serían sus autores, prioritariamente, mujeres?

ACTIVIDADES DE DIVULGACIÓN

CONCURSO DE FANZINES
¿CÓMO SERÍA EL MUNDO SIN EL TRABAJO DE LAS CIENTÍFICAS?



El Departamento de Química Orgánica y Química Inorgánica de la Universidad de Alcalá, apoyado por el Instituto de Investigación Química Andrés Manuel del Río (IQAR), los Grupos Especializados de Historia de la Ciencia (GEHCi) y de Didáctica e Historia de la Física y la Química (GEDH) de la Real Sociedad Española de Química (RSEQ) y por la Sección Territorial de Madrid de la RSEQ, convoca un concurso de fanzines con el triple objetivo de concienciar sobre la contribución de la Ciencia a la Sociedad, visibilizar el papel fundamental y el legado de las mujeres en las disciplinas científicas, y promover el conocimiento científico a través de una actividad creativa.

Está dirigido a estudiantes de 1º, 2º, 3º y 4º de la ESO, 1º y 2º de Bachillerato y de módulos de Formación Profesional matriculados en el curso 2026-2027 en Centros del Corredor del Henares y los trabajos se presentarán en forma de **Fanzine.** En ellos los estudiantes deberán hacer una reflexión sobre la aportación del trabajo de las científicas a la sociedad y podrán hacerlo hasta el **20 de noviembre de 2026**.

ACTIVIDADES DE DIVULGACIÓN

VISITA AL CONSEJO DE SEGURIDAD NUCLEAR



El Centro de Información del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) pone sus instalaciones a disposición del público interesado en conocer las radiaciones ionizantes y sus aplicaciones en la industria, la medicina y la investigación, así como sus riesgos y los controles necesarios para garantizar la seguridad.

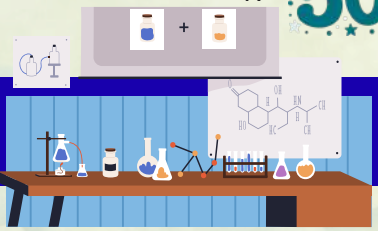
En este recinto se desarrollan de forma interactiva 29 módulos, algunos de los cuales están adaptados a personas con discapacidad sensorial. La exposición se encuentra dividida en cuatro ámbitos:

- Historia de las radiaciones y fundamentos de la ciencia (radiación natural).
- Usos y aplicaciones en la industria, medicina e investigación (radiación artificial).
- Riesgos y servidumbres de la energía nuclear (residuos radiactivos, dosis).
- El Consejo de Seguridad Nuclear (organismo regulador español).

Hay dos modalidades de visita: visitas guiadas o visitas libres (no guiadas). Puedes encontrar más información a través de su página web, **www.csn.es**, en el apartado *Centro de Información*, desde donde también podrá acceder tanto a una **visita virtual** como a un **vídeo de la visita guiada al Centro**.

Se puede agendar una visita escribiendo al correo (centroinformacion@csn.es).

LA INVESTIGACIÓN EN LA FACULTAD



Diastereoselective TMSOTf-mediated alkyne-Prins cyclisation to access mono- and bicyclic Δ3 -vinyltriflated disubstituted cis-2,7-oxepenes

Davide Andrea Coppini, Victoria Sinka, Carla Alamillo-Ferrer, **Israel Fernández**, Jordi Burés , Juan I. Padrón



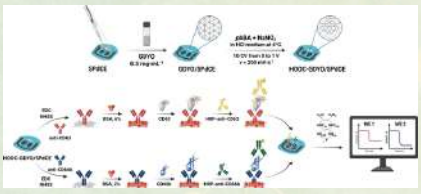
Se ha desarrollado una metodología diastereoselectiva mediada por TMSOTf para obtener 2,7-cis-oxepenos disustituidos, mono y bicíclicos, con grupo Δ3-viniltriflato, mediante una ciclización de Prins con alquino. Este método permite sintetizar oxaciclos de siete miembros que contienen un grupo viniltriflato, lo que facilita el acceso rápido a la complejidad molecular y a múltiples derivatizaciones en un solo paso. La reacción es completamente diastereoselectiva, dando lugar únicamente al diastereoisómero disustituido del 2,7-cis-oxepeno, lo que facilita la derivatización posterior mediante reacciones bien establecidas. Una investigación combinada, experimental y de mecánica DFT, de esta reacción, complementada con estudios de estabilidad, nos permitió identificar las condiciones óptimas de reacción, establecer el balance de masas y corroborar el mecanismo de reacción propuesto.

Org. Chem. Front. (2026)

DOI

Graphdiyne oxide as a high-capacity biointerface for multiplexed electrochemical immunosensing of neutrophil biomarkers

Claudia Ramos-López, Lorena García-Rodrigo, Esther Sánchez-Tirado, Lourdes Agüí, Araceli González-Cortés

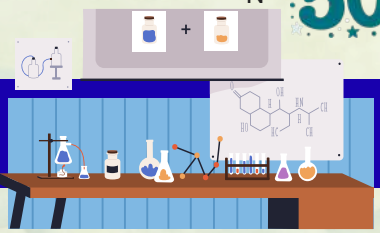


La cuantificación rápida y fiable de los biomarcadores inflamatorios resulta muy deseable para el diagnóstico clínico y las pruebas en el punto de atención. En este trabajo, hemos desarrollado una plataforma de inmunoanálisis electroquímico dual basada en óxido de grafdiino (GDYO) para determinar simultáneamente los biomarcadores de activación de los neutrófilos CD63 y CD66b. El GDYO se integró en electrodos de carbono serigrafiados para crear una biointerfaz de alta capacidad con una gran cantidad de sitios reactivos para la inmovilización de anticuerpos y una transducción de señal eficiente. El enfoque analítico se basó en una configuración de inmunoensayo tipo sándwich que empleaba anticuerpos secundarios marcados con peroxidasa de rábano picante (HRP). La detección amperométrica se llevó a cabo utilizando el sistema redox de hidroquinona/peróxido de hidrógeno. En condiciones optimizadas, la plataforma permitió la cuantificación simultánea de ambos analitos en un rango de concentración de 0,005 a 100 ng/mL, alcanzando límites de detección (LOD) de 0,1 y 0,6 pg/mL para CD63 y CD66b, respectivamente. El inmunosensor mostró una reproducibilidad y una estabilidad de almacenamiento satisfactorias, así como un rendimiento analítico constante. Su aplicabilidad práctica quedó demostrada mediante el análisis de muestras de suero de individuos sanos y de pacientes diagnosticados con enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC). La plataforma electroquímica basada en GDYO propuesta constituye una estrategia prometedora para la determinación sensible de biomarcadores asociados a los neutrófilos en los análisis clínicos descentralizados.

Anal. Bioanal. Chem. (2026)

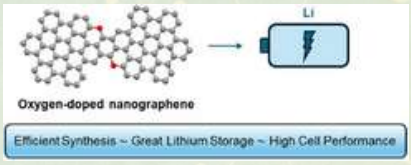
DOI

LA INVESTIGACIÓN EN LA FACULTAD



Oxygen-Doped Nanographene as High-Performance Anode Material in Lithium-Ion Batteries

Juan Lión-Villar, Kyunam Lee, Wenrui Lei, **Jesús M. Fernández-García**, Colin P. Nuckolls, **Nazario Martín**

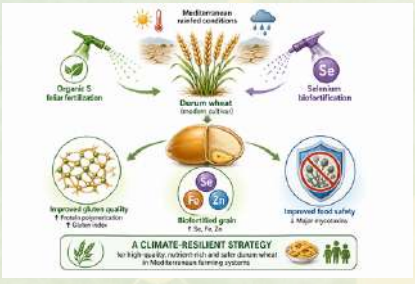


Chem. Eur. J. (2026)
DOI

Presentamos la síntesis, la caracterización estructural y la evaluación electroquímica de un novedoso nanografeno molecular dopado con oxígeno (O-doped-NG) como material de ánodo de alto rendimiento para baterías de iones de litio (LIB). Diseñado a partir de un núcleo de antraquinona, el O-doped-NG se obtuvo mediante una secuencia sintética de tres pasos, lo que dio lugar a un nanografeno de extensión π poco conocido con unidades de pirano que contienen oxígeno incrustadas. La caracterización mediante MALDI-ToF MS, RMN en estado sólido, FT-IR, espectroscopia Raman y difracción de rayos X en polvo confirmó la formación de un material grafítico multicapa altamente conjugado, con un mayor espaciado entre capas y defectos estructurales atribuibles al dopaje con oxígeno. Las pruebas electroquímicas demostraron un rendimiento notable como ánodo. En comparación con su precursor de poliareno, el O-doped-NG mostró un aumento de 2,7 veces en la capacidad específica, alcanzando hasta 750 mAh/g a una densidad de corriente de 0,1 A/g, superando el límite teórico de la grafita. El material mostró una excelente capacidad de velocidad, con 320 mAh/g retenidos a 2 A/g tras 200 ciclos, y una estabilidad de ciclo excepcional (>500 ciclos) con una pérdida de capacidad mínima. Los efectos sinérgicos de la extensión π, el dopaje con oxígeno y la planaridad molecular contribuyen a una mayor difusión de iones de litio, una mejor humectabilidad y una transferencia de carga estable. Este estudio pone de relieve el potencial de los nanografenos moleculares dopados con heteroátomos como materiales de ánodo sostenibles y de alta capacidad para las baterías de iones de litio (LIB) de próxima generación, lo que abre nuevas vías en el diseño de sistemas de almacenamiento de energía de base orgánica.

Enhancing durum wheat (Triticum turgidum ssp. durum L.) grain quality and safety: the role of organic foliar fertilization and selenium biofortification in mediterranean farming systems

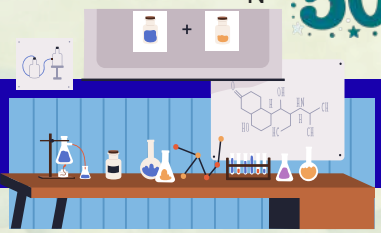
Federica Carucci, Giuseppe Gatta, Massimo Blandino, Valentina Scarpino, **Gustavo Moreno-Martín, Yolanda Madrid-Albarrán,** Marcella Michela Giuliani

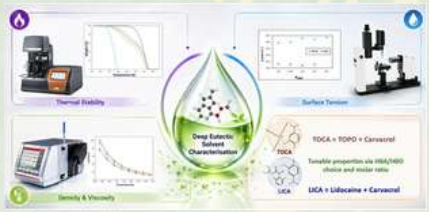


Agric. & Food Secur. (2026)
DOI

El trabajo estudia cómo la combinación de fertilización foliar de origen orgánico y biofortificación con selenio puede contribuir a mejorar la calidad nutricional, las propiedades tecnológicas y la seguridad del trigo duro (Triticum turgidum ssp. durum L.) cultivado en condiciones mediterráneas. Para ello, se realizaron ensayos de campo durante dos años con variedades modernas y tradicionales de trigo, evaluando el efecto de diferentes tratamientos con nitrógeno, azufre y selenio. Se analizaron, entre otros aspectos, la calidad de las proteínas del gluten y las concentraciones de selenio, hierro y zinc en el grano, así como la presencia de micotoxinas. Los resultados muestran que las condiciones de disponibilidad de agua afectan de manera diferente a las variedades de trigo, siendo las variedades modernas más capaces de mantener sus características tecnológicas bajo condiciones de estrés hídrico. La aplicación foliar de azufre orgánico mejoró la polimerización de las proteínas y el índice de gluten, mientras que la biofortificación con selenio aumentó significativamente la concentración de este elemento en el grano y, bajo condiciones de limitación hídrica, también favoreció la acumulación de hierro y zinc. Además, el tratamiento con selenio redujo la presencia de algunas micotoxinas relevantes, como deoxinivalenol, moniliformina y enniatinas. En conjunto, los resultados apuntan al potencial de combinar variedades más resilientes con estrategias de fertilización y biofortificación para obtener trigo de mayor valor nutricional y tecnológico y con mejores condiciones de seguridad alimentaria en sistemas mediterráneos de secano.

LA INVESTIGACIÓN EN LA FACULTAD





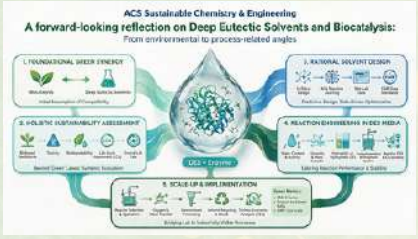
J. Chem. Eng. Data (2026)

DOI

Density, Viscosity, Surface Tension, and Thermal Stability Behavior of Carvacrol-Based Deep Eutectic Solvents

Sahar Gholami, Pablo López-Porfiri, María Pérez-Page, **Jesús Esteban**

Se han caracterizado fisicoquímicamente dos nuevos disolventes eutécticos profundos (DES) de tipo V, el óxido de tri-n-octilfosfina:carvacrol (TOCA) y la lidocaína:carvacrol (LICA), en un rango de composiciones molares de HBA:HBD y de temperaturas. Se midieron la estabilidad térmica, la densidad, la viscosidad y la tensión superficial para evaluar su aplicabilidad y generar datos sobre sus propiedades con vistas al diseño y la ampliación del proceso. La TGA dinámica e isotérmica reveló que la estabilidad térmica aumentaba con la fracción de HBA en ambos sistemas y era mayor para el TOCA que para el LICA en composiciones comparables. La TGA isotérmica a 323,15 K durante 720 min demostró que la TGA dinámica por sí sola sobreestima la estabilidad del disolvente, ya que se produjo una pérdida de peso gradual durante un calentamiento prolongado por debajo de la temperatura de inicio de degradación dinámica. Se midieron la densidad y la viscosidad entre 298,15 y 333,15 K. La densidad disminuyó linealmente con la temperatura para todas las composiciones. La viscosidad también disminuyó con la temperatura y osciló entre 70,69 y 14,14 mPa·s para el TOCA y entre 102,30 y 10,91 mPa·s para el LICA, lo que demuestra que el TOCA era, en general, menos viscoso que el LICA, mientras que el modelo de Vogel–Fulcher–Tammann se ajustaba mejor a la viscosidad que la ecuación de Arrhenius. La tensión superficial a 294,4 K fue menor para el TOCA (24,91–25,17 mN·m–1) que para el LICA (28,38–29,19 mN·m).



ACS Sustainable Chem. Eng. (2026)

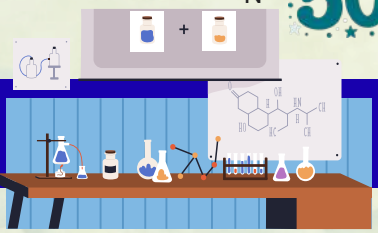
DOI

A Forward-Looking Reflection on Deep Eutectic Solvents and Biocatalysis: From Environmental to Process-Related Angles

Andrés R. Alcántara, **Juan M. Bolívar**, Pablo Domínguez de María, Gonzalo de Gonzalo, Selin Kara

Se da por sentado que los disolventes eutécticos profundos (DES) y la biocatálisis constituyen una «sinergia ecológica» por defecto, con aplicaciones que se implementarán sin dificultad a escala industrial. Esta revisión examina de forma crítica el estado actual de la técnica de los DES en las reacciones enzimáticas, centrándose en varios aspectos. En primer lugar, la inocuidad medioambiental de los DES se analiza desde un enfoque holístico, que abarca su origen y destino, su toxicidad y biodegradabilidad, y el grado de intensificación en las reacciones enzimáticas, lo que, en última instancia, determina su carácter realmente ecológico (relación optimizada entre producto y disolvente y reciclaje). En segundo lugar, los ejemplos seleccionados se utilizan para ilustrar cómo la investigación en DES y biocatálisis debería pasar de meras consideraciones de prueba de concepto a contribuciones profundas y con visión de futuro en diferentes áreas, como: (i) el diseño racional de disolventes que combine resultados in silico y de laboratorio, junto con opciones basadas en datos y legibles por IA; (ii) la determinación exhaustiva de parámetros para el diseño del proceso; (iii) la evaluación de los tipos de reactores y la ampliación de escala, abordando los retos previstos cuando se utilizan grandes volúmenes; y (iv) el tratamiento de la fase posterior a las reacciones basadas en DES para proponer alternativas que puedan conciliar la eficiencia con la sostenibilidad. En general, los DES y la biocatálisis podrían tener, de hecho, el potencial de convertirse en una sinergia ecológica de gran utilidad en los futuros (bio)procesos. No obstante, es necesario llevar a cabo una investigación fundamental orientada a los procesos y comprender los aspectos mencionados anteriormente para determinar la elección adecuada del disolvente, el proceso y el reactor, en combinación con enzimas –libres, inmovilizadas o en forma de células completas– con el fin de establecer sistemas sintéticos sólidos y ecológicos desde su diseño.

LA INVESTIGACIÓN EN LA FACULTAD



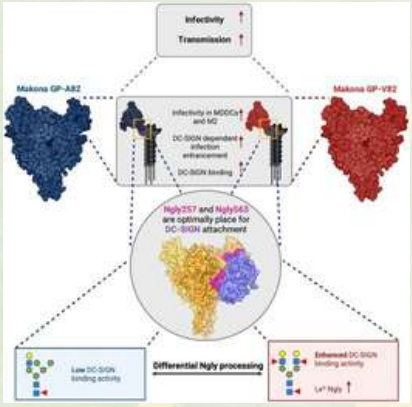


JCO Precis Oncol. (2026)
DOI

Longitudinal Clinical, Physiological, and Molecular Profiling of Female Patients With Metastatic Cancer: Protocol and Feasibility of a Multicenter High-Definition Oncology Study

Leonardo D. Garma, Sonia Pernas, MD, David Vicente Baz, MD, Rosario García Campelo, MD, **Yolanda Madrid, Jon Sanz-Landaluze, Gustavo Moreno-Martín**, ... Miguel Quintela-Fandino

Una proporción considerable de pacientes que reciben terapias adaptadas genómicamente no obtienen beneficios clínicos, lo que pone de relieve la influencia de los factores no genéticos en los resultados del cáncer. La Oncología de Alta Definición (HDO) propone integrar datos longitudinales y multimodales de los pacientes —que abarcan los ámbitos clínico, molecular, fisiológico y conductual— para permitir una atención oncológica verdaderamente individualizada. Este artículo describe el diseño, el marco y los resultados de viabilidad del estudio HDO en mujeres con cáncer metastásico. Iniciamos un estudio observacional prospectivo y multicéntrico en el que se inscribieron 300 pacientes mujeres con cáncer metastásico de mama, pulmón o colorrectal recién diagnosticado. El estudio HDO demuestra la viabilidad de una recogida de datos exhaustiva, longitudinal y multimodal en mujeres con cáncer metastásico. Este estudio piloto interno establece un marco integrado para futuros análisis destinados a caracterizar las trayectorias de la enfermedad, definir los determinantes moleculares y fisiológicos de los resultados y desarrollar modelos computacionales específicos para cada paciente.



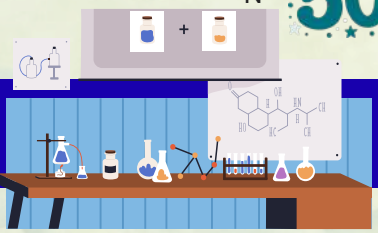
Emerging Microbes & Infections (2026)
DOI

Differential glycosylation in the envelope glycoprotein enhances DC-SIGN-mediated cell entry of the West African Ebolavirus Makona

Juan García-Bernalt Diego, Fátima Lasala, Joanna Luczkowiak, Clara Delaunay, María A. Noriega, Oscar Malvar, Michel Thépaut, Gonzalo Rivas, Franck Fieschi, **Ángeles Canales**, José M. Casasnovas, Rafael Delgado

Durante la epidemia del virus del Ébola (EBOV) de Makona, en África Occidental, entre 2013 y 2016, la vigilancia genómica identificó una sustitución A82V en la glicoproteína (GP) viral en las primeras fases del brote. Esta mutación se asoció a una mayor infectividad y a una propagación viral más rápida; sin embargo, los factores del huésped subyacentes a esta transmisión potenciada seguían sin estar claros. Mediante un sistema lentiviral pseudotipado, demostramos que la GP-A82V aumenta la unión viral y la infectividad en las células dendríticas (CD) y los macrófagos, que son células diana clave tanto en las primeras fases como a largo plazo. Esta potenciación depende de la expresión de DC-SIGN, un receptor de lectina presente en las CD. Las partículas similares a los filovirus que portaban la GP-V82 mostraron una cinética de infección acelerada en las células que expresaban DC-SIGN. Identificamos dos sitios de glicosilación N-ligada, Ngly257 y Ngly563, que potenciaban la infectividad de la GP-V82 mediante la unión simultánea a un dímero de DC-SIGN. La sustitución A82V aumentó la unión de la GP soluble a DC-SIGN. El análisis por resonancia magnética nuclear reveló un enriquecimiento de Lewis X (CD15), un ligando conocido de DC-SIGN, en la GP-V82. El bloqueo de Lewis X con un anticuerpo anti-CD15 redujo la infección por pseudovirus, lo que confirmó su papel funcional. Estos hallazgos identifican a DC-SIGN como un factor clave del huésped que contribuye a la transmisión del EBOV Makona y destacan la glicosilación de la envoltura viral como un mecanismo que facilita la adaptación viral y potencia la propagación de persona a persona.

LA INVESTIGACIÓN EN LA FACULTAD



Visible Light-Mediated Decarboxylative Annulations of Oxamic Acids and Alkynes via Hydrogen Atom Transfer

Baoting Wang, Xiang Zhou, **Israel Fernández,** Kexue Xia, Yang Xiong



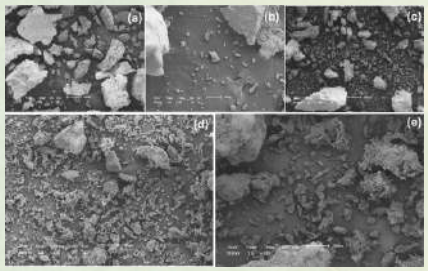
ACS Catal. (2026)

DOI

Los β- y γ-lactámicos son heterociclos de vital importancia en la química orgánica y médica, principalmente debido a sus potentes actividades biológicas y a sus características arquitecturas tridimensionales. En este trabajo se describe una síntesis fotoquímica sencilla de una serie de derivados funcionalizados de β- y γ-lactámicos a partir de anelaciones descarboxilativas de ácidos oxámicos y alquinos de fácil obtención, lo cual es posible gracias a una estrategia de transferencia de átomos de hidrógeno (HAT). Cabe destacar que este protocolo eficiente se lleva a cabo en condiciones suaves con un tratamiento posterior sencillo, admite un amplio espectro de grupos funcionales y puede aplicarse fácilmente a la derivatización de esqueletos de relevancia farmacéutica. A partir de pruebas mecánicas y estudios computacionales, se sugiere que la naturaleza electrónica del alquino modula la reactividad del radical alquenilo intermedio, que se forma fácilmente, para desencadenar una 1,5-HAT de carbono a carbono y, en consecuencia, una ciclización selectiva en anillos de cuatro o cinco miembros. Esta estrategia proporciona un acceso simplificado a una variedad de β- y γ-lactámicos, ofreciendo un enfoque conceptualmente diferente a la funcionalización C(sp3)–H mediada por HAT.

Hybrid CD Waste–Biomass Adsorbents for Atrazine Removal and Preliminary Soil Conditioning

Jéssica B. Dantas, Kaline C. Vasconcelos, Leonardo T. Almeida, Sabryna G. Alencar, Júlia M. G. Borges, Giovanna K. C. O. Lira, Maria A. S. Barros, Ana R. B. Ribeiro, Sendy M. S. Nascimento, Eduardo J. S. Fonseca, **José L. S. Duarte**, Leonardo M. T. M. Oliveira

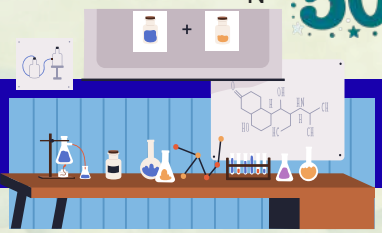


Water, Air, & Soil Pollution (2026)

DOI

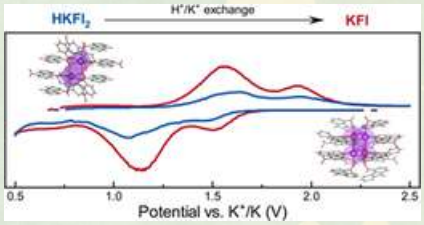
El sector de la construcción es uno de los que más rápido crece a nivel mundial y genera grandes volúmenes de residuos de construcción y demolición (RCD), cuya gestión sigue siendo, en su mayor parte, deficiente. En Brasil, por ejemplo, solo se recupera de forma efectiva alrededor del 16 % de este flujo de residuos. Del mismo modo, otros residuos abundantes, como las fibras de coco (*Cocos nucifera*) y las conchas de sururu (*Mytella charruana*) en las regiones costeras del noreste de Brasil, presentan bajas tasas de reutilización. Paralelamente, el uso generalizado de pesticidas, en particular la atrazina (ATZ), ha intensificado la contaminación medioambiental a través de procesos de lixiviación, lo que supone un riesgo para las masas de agua, la calidad del suelo, la salud humana y los ecosistemas locales. Este estudio investiga el potencial de adsorción de los RCD sin tratar y de tres materiales compuestos producidos mediante la combinación de RCD con hidrocarbón de fibra de coco y conchas de sururu calcinadas para la eliminación de la atrazina de medios acuosos. Los materiales sintetizados fueron: CDW-HC (CDW + hidrocarbón), CDW-S (CDW + cáscaras calcinadas) y CDW-HC-S (que combina ambos componentes). La caracterización se llevó a cabo mediante microscopía electrónica de barrido (SEM), espectroscopia de dispersión de energía (EDX), espectroscopia infrarroja transformada (FTIR) y análisis de afinidad química. Los ensayos cinéticos confirmaron una rápida adsorción y la saturación de los contaminantes, mientras que las pruebas de regeneración demostraron un rendimiento estable a lo largo de cinco ciclos consecutivos. Además, las evaluaciones de la eliminación en el suelo tras su uso indicaron que los adsorbentes agotados no solo cumplían los criterios de compatibilidad medioambiental, sino que también actuaban como acondicionadores del suelo, favoreciendo el crecimiento de las plántulas.

LA INVESTIGACIÓN EN LA FACULTAD



Potassium Salts of 9-Oxo-9H-fluoren-4-carboxylic Acid: Phase Formation, Crystal Structure, and Electrochemical Behavior in Potassium-Ion Batteries

Irene Gómez-Berenguer, Patricia Delgado-Martínez, Álvaro Lobato, Bernardo Herradón, **Elizabeth Castillo-Martínez**



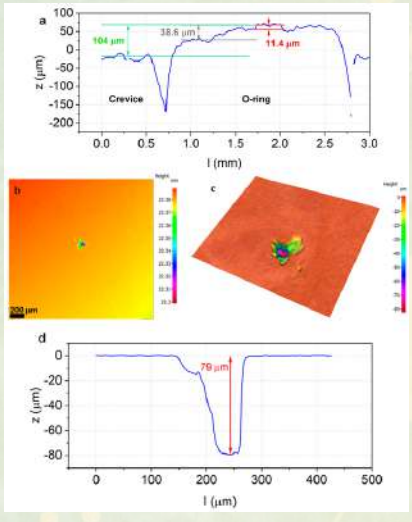
Chem. Mater. (2026)

DOI

Las baterías de iones de potasio (KIB) están despertando un interés cada vez mayor como alternativas a los sistemas basados en litio, debido a la abundancia natural y al bajo coste del potasio. Los compuestos carbonílicos orgánicos se han revelado como materiales electroactivos prometedores, ya que sus propiedades redox pueden ajustarse mediante el diseño molecular y la estructura cristalina. En este trabajo, examinamos los derivados de potasio del ácido 9-oxo-9H-fluoren-4-carboxílico (HFl). Dependiendo de las condiciones de reacción, se obtienen dos fases cristalinas distintas a partir del ácido original: la sal de potasio totalmente desprotonada (KFl) y un carboxilato de hidrógeno y potasio (HKFl2). Si bien las sales ácidas de los ácidos carboxílicos monopróticos son bien conocidas, su formación y sus implicaciones estructurales en los sistemas basados en fluorenona siguen sin estar exploradas en gran medida. La difracción de rayos X en monocristal revela que ambas estructuras comprenden redes de coordinación K–O extendidas formadas a partir de entornos KO_6 distorsionados, mientras que el $HKFl_2$ presenta además fuertes enlaces de hidrógeno O–H···O– que unen moléculas neutras y desprotonadas. Los electrodos de KFl muestran una inserción reversible de iones K a aproximadamente 1,5 V frente a K+/K, a pesar de una pronunciada irreversibilidad en el primer ciclo y una pérdida de capacidad, lo que podría estar relacionado con procesos secundarios dependientes del electrolito y con la disolución del material activo. La difracción ex situ muestra que KFl es la fase electroquímicamente activa, mientras que el $HKFl_2$ se convierte en KFl al entrar en contacto con el electrolito. Estos resultados demuestran que unas variaciones sutiles en el estado de protonación dan lugar a fases cristalinas distintas que determinan directamente el comportamiento electroquímico.

Crevice Corrosion Mitigation in Ti-6Al-4V DMLS Alloy via Hybrid PEO/PCL/PLA Hierarchical Coatings for Biomedical Implants

Shaghayegh Javadi, Enrique Martinez-Campos, **Raúl Arrabal, Endzhe Matykina**



J. Funct. Biomater. (2026)

DOI

Los implantes fabricados mediante impresión 3D pueden ser vulnerables a la corrosión localizada en huecos estrechos; sin embargo, aún no se conoce suficientemente la geometría crítica de las hendiduras ni la eficacia de los recubrimientos multicapa en tales condiciones. Este estudio compara el comportamiento frente a la corrosión en hendiduras de las aleaciones de Ti-6Al-4V fabricadas mediante sinterización directa por láser de metal (DMLS) y las forjadas convencionalmente y recocidas en laminador, y evalúa un recubrimiento jerárquico compuesto por una capa de oxidación electrolítica por plasma (PEO), un sellado de policaprolactona (PCL) y una capa superior porosa de ácido poliláctico (PLA) con estructura de respiración. Se realizaron ensayos electroquímicos en líquido corporal simulado utilizando una célula de hendidura cónica, seguidos de análisis microscópicos, composicionales y topográficos. Ambas aleaciones sin recubrimiento mostraron una ruptura de la película pasiva; sin embargo, la aleación forjada se repasivó posteriormente, mientras que la aleación DMLS sufrió un ataque localizado sostenido dentro del espacio crítico de la rendija de ~11,4 µm. A pesar de la porosidad intrínseca y de los huecos interfaciales del recubrimiento, no se detectó ningún daño de tipo fisura en el Ti-6Al-4V fabricado mediante DMLS. La jerarquía PCL/PLA aumentó la resistencia de los poros de PEO hasta ~3,5 kΩ cm^2, redujo la densidad de corriente pasiva en aproximadamente un factor de 2 y aumentó la resistencia de la capa barrera de PEO hasta 10^7 Ω cm^2.



EL PAN, UN ALIMENTO BÁSICO A TRAVÉS DE LOS SIGLOS

José A. Martínez Pons
Catedrático de IES de Física y Química.
Prof. *ad Honorem* UAH

El pan ha sido durante siglos sinónimo de alimento para una buena parte de la humanidad. Todavía hoy la palabra "*pan*" es prácticamente sinónimo de alimento en su más amplio sentido, valga por ejemplo la maldición "*Ganarás el pan con el sudor de tu frente*" o siendo más positivo "*Llevar el pan a casa*". En principio de trata de una masa cocida de agua y harina obtenida de la molienda de un cereal. Existen varios cereales panificables, aunque este trabajo se va a reducir al trigo, por ser el más común en España donde el consumo medio de pan en 2024, aproximadamente, fue de unos 27,82 kg por persona y año, según el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. esto supone un breve repunte después de unos 60 años de descenso, debido al aumento de consumo de otros carbohidratos como pasta o pizza y la creencia, si no errónea, exagerada, de que el pan "*engorda*".

Su elaboración, en principio muy sencilla, ha ido evolucionado con la introducción de métodos y técnicas muy desarrollados, siempre buscando un producto de mayor calidad tanto alimenticia como gastronómica. La adición de sustancias además de harina agua y levadura, ha contribuido a mejorar las propiedades de este alimento fundamental. En España es el segundo cereal en cuanto a producción, solo precedido por la cebada, ocupando unos 2 millones de Ha con una producción de unos 5 millones de toneladas por año. El pan va unido al consumo de los principales cereales, trigo, centeno, espelta, avena o cebada y, en sentido más amplio, el pan de maíz, una gramínea (*Zea Mays*) originaria de Mesoamérica y base de la alimentación en muchos pueblos. Este trabajo se referirá al pan más usual en España, el pan de trigo (*Triticum aestivum* y otras subespecies).

La preparación en principio es sencilla, **molturar el grano** y **cerner la harina** producida, mezclarla con agua y cocer la mezcla de diversas formas. El **cernido** separa la "*harina*" blanca del "*salvado*", un subproducto que procede de la envoltura del grano de trigo, su presencia da un pan "*integral*" más oscuro y más rico en fibra vegetal y por supuesto aumenta el "*rendimiento*" la harina. Se suele utilizar como alimento del ganado, pero curiosamente, hoy el pan integral que, en teoría, contiene un producto más barato y una operación menos suele ser más caro que el blanco. Realmente se suele partir de la harina cernida a la que se le agrega una cantidad controlada de salvado. También es importante recordar que existen diferentes variedades de harina, no solo debido al contenido de salvado, si no a la finura de la molienda siendo la sémola la más gruesa y al contenido de la proteína característica del trigo, el gluten, que las clasifica en fuertes y flojas (**Figura 1**).





Figura 1. Distintos tipos de harina

Un poco de historia

Posiblemente y por casualidad, se descubrió la fermentación y las tortas de pan ácimo fueron sustituidas por el pan, esponjoso y más digestivo, aunque todavía en muchos lugares es común el consumo de tortas de pan ácimo, incluso en la alta cocina las "*crêpes*" pueden ser algo exquisito. Es posible que el descubrimiento de la levadura se debiera a que alguien dejó un poco de masa a la intemperie, la cual fermentó de una forma natural y espontánea, lo que originó un esponjamiento al ser cocida. Pronto se aprendió a guardar un poco de esta masa fermentada cruda y se utilizó en el siguiente amasado, la "***masa madre***".

A las levaduras salvajes se las suele llamar "*ácidas*". El microscopio y los trabajos de Pasteur, hacia 1860, permitieron una elucidación de los mecanismos de acción de las levaduras. Hacia 1880 se introdujo como agente leudante la levadura de cerveza, que daba un pan más esponjoso que la ácida, pero un poco amargo. Unos años más tarde se descubrió la levadura prensada o levadura alemana, obtenida por selección de microorganismos que daba unos resultados mejores. Hoy se encuentra en los mercados la "*levadura seca*", levadura deshidratada, que no debe confundirse con la "*levadura química*", mezcla de sustancias que o bien se descomponen por el calor o reaccionan químicamente produciendo dióxido de carbono y otras sustancias insípidas y no tóxicas para el ser humano (**Figura 2**).



Figura 2. Levadura prensada, seca y química.

DIVULGAR PARA EDUCAR



La elaboración del pan era antiguamente algo doméstico, valga como ejemplo que en la Mallorca rural, ya desaparecida, en las fincas agrícolas (*possessions*) se amasaba el pan una vez a la semana y el pastor era el encargado del amasado, dando lugar al juego de palabras "*es pastor pastava* (pastoreaba/amasaba)". La levadura era "masa madre", que se conseguía, como se ha dicho, guardando un poco de masa para incorporarla al próximo amasado. Se solía mezclar la harina, el agua y la masa madre y dar un primer amasado por la noche, "*posar llevat*" (poner la levadura) para dejar que fermentara toda la noche y dar el amasado definitivo la mañana siguiente. Las casas rurales solían disponer de horno de piedra que se calentaba con leña. A veces se separaba un poco de masa que se enriquecía con grasa (aceite o manteca) que se extendía sobre una lata y sobre la que se depositan las más variadas preparaciones. La más típica, las "coques mallorquines" en las que el , es una especie de ensalada de cebolla, pimiento y tomate ("*trempó*") se cocía al horno en una masa. Hay quien piensa que son antecedente de la "pizza "napolitana.

Poco a poco se ha entrado en la era industrial y el pan admite múltiples variantes según las harinas, agua, hornos, modos de amasado y formado de las piezas. Las propiedades organolépticas, nutritivas y de conservación han mejorado con la adición de otras sustancias. En paralelo con la panadería se ha desarrollado la bollería y la galletería, en cuya preparación se incorpora a la masa de pan grasa, azúcares, y huevos, preparados en los que muchas veces se obtiene la esponjosidad gracias a levaduras químicas (fosfatos, tartratos, ácido tartárico e hidrogeno carbonatos de sodio y amonio, principalmente). Valga como ejemplo una mezcla de hidrógeno carbonato de sodio y ácido tartárico que reaccionan produciendo dióxido de carbono y tartrato de sodio, como ya se ha dicho más arriba.

El principal problema del pan es su conservación, ya que puede endurecerse, revenirse o enmohecerse. En la época de las grandes navegaciones era común embarcar el llamado "*bizcocho*" o "*galleta*" que se trataba un pan sometido una segunda cocción (*Bis-cotto*) que lo deshidrataba e impedía la proliferación de microorganismos que acababan por hacerlo incomestible e incluso peligroso para la salud de sus consumidores. Recuérdese la imagen de la película clásica "*El acorazado Potemkin*" donde se muestra la comida agusanada de los marineros del acorazado ruso que causa el motín.



Hoy día, en la elaboración industrial del pan, se añaden a los tres ingredientes básicos, agua, harina y levadura, otras sustancias con finalidades concretas. Estos ingredientes no deben ser tóxicos ni indigestos ni deben dar mal sabor o mal aspecto al pan.

La harina está constituida fundamentalmente por dos sustancias principales, el **almidón**, un glúcido de cadena larga, $(C_6H_{10}O_5)_n$, de unidades de glucosa unidas por enlaces 1-4α -glicosídicos. En 1932, Haworth demostró que la unidad mínima tiene entre 24 y 30 monómeros, y medidas de viscosidad, hacen patente una estructura muy ramificada. El almidón consta dos fracciones, **amilosa**, (17 a 34 %), lineal y amilo pectina ramificada. El gluten es la proteína del pan (**Figura 3**).

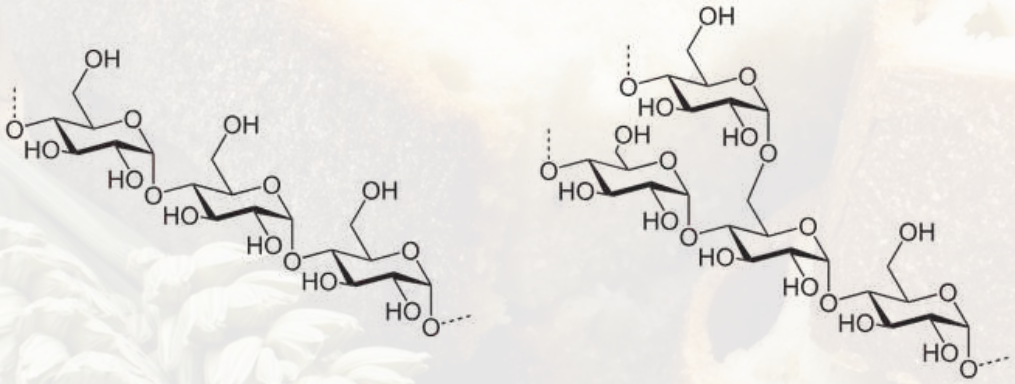


Figura 3. Amilosa (izqda.) y amilopectina (drcha.).

Principales aditivos en el pan

1. Sal. Es fundamentalmente cloruro de sodio, aunque en realidad la sal común contiene otros cationes, como el magnesio. Es el primer aditivo cuya introducción se pierde en las brumas de los tiempos. Fortalece el gluten, la proteína del trigo, responsable de la esponjosidad del pan, ya que permite la formación de alvéolos que retiene el gas durante el hinchado. La sal actúa sobre el gluten aumentando la fuerza y la tenacidad a medida que la dosificación aumenta. La falta de sal en la masa se manifiesta con masas blandas y pegajosas, con una miga poco firme. Parece que otros cationes producen efectos semejantes al sodio, puede ser una razón por la que, en Mallorca, donde se amasa con aguas muy calizas, el pan tradicional se amasa sin sal. La sal es antioxidante y bactericida, inhibe parcialmente la acción de las levaduras, lo que hace el leudado más lento, y retarda las fermentaciones bacterianas del ácido láctico y butírico.



Produce la corteza más fina, crujiente y de mejor color ya que al inhibir la fermentación hace que no se produzca un agotamiento de los azúcares, que por la acción del calor del horno carameliza. Da gusto y sabor al pan, activando las papilas gustativas que pueden detectar mejor los aromas producidos como consecuencia de la fermentación y cocción.

2. Azúcar. Normalmente se utiliza **sacarosa** ($C_{12}H_{22}O_{11}$), que no suele emplearse en los panes "*tradicionales*" pero si en bollería y en panes especiales, como el pan de molde o en cruasanes. La sacarosa es un disacárido, sin embargo, en panadería muchas veces se utiliza un monosacárido, la **glucosa** ($C_6H_{12}O_6$) que fermenta directamente por la acción de las levaduras, mientras que la sacarosa debe ser previamente desdoblada en azúcares simples, por ejemplo, por la acción de una enzima específica, la **invertina o invertasa**.

Los azúcares, además de dar sabor dulce, sirven para estabilizar y controlar la fermentación, dan una miga más suave y color a la corteza, ya sea debido a reacciones Maillard, en las cuales intervienen compuestos nitrogenados, o por caramelizado y además retiene por más tiempo la humedad, aumentando la duración del pan. También en los panes especiales y en bollería se añade grasa, normalmente mezclas de aceites vegetales, pero también mantequilla, margarina, o manteca de cerdo. Conviene recordar como producto típico la ensaimada, que lleva aceite en la preparación de la masa, y manteca que se esparce previo estirado para conseguir un correcto hojaldrado de la masa. En otras masas hojaldraras, como el hojaldre propiamente dicho, se procede también estirando la masa base con una grasa consistente: mantequilla, margarina o manteca. También aportan grasa otros añadidos como los huevos o la leche.

El principal problema de la grasa es su tendencia a enranciarse, no muy importante en productos de consumo inmediato, pero si en aquellos que se desea conservar y en galletería (**Figura 4**).



Figura 4. Coca de albaricoque, es una masa enriquecida con aceite , leche , azúcar, huevos, y perfumada con naranja.



3. Mejorantes. Son sustancias químicas o biológicas que añaden al pan para optimizar alguna de las características. Suelen presentarse en mezclas líquidas muy viscosas que requieren calentamiento previo al uso conteniendo distintas sustancias con varias funciones. Entre ellos podemos encontrar:
   - *Emulsionantes*. Tienen por objeto conseguir una masa más homogénea y fácilmente manejable y una mayor retención de gases ya que la malla del gluten se ve reforzada. Como consecuencia, el pan presenta una miga más esponjosa, una corteza más uniforme y un mayor volumen debido a la mayor retención de gases. Los más utilizados son las **lecitinas**, procedentes de los huevos o añadidas, extraídas de la soja. Además contribuyen a conservar la humedad del pan más tiempo.
   - *Ácido L-ascórbico o vitamina C.* Normalmente se comporta como antioxidante, pero en la panadería actúa de modo contrario, es decir, como oxidante, ya que durante el proceso de panificación tiene lugar una compleja reacción catalizada por la enzima **ascórbico oxidasa** y se oxida a ácido dihidroascorbico. El ácido ascórbico es una molécula casi plana, que en disolución acuosa tiene pH 3, siendo el C_3 del grupo enólico el que se ioniza. La oxidación fortalece la malla de gluten lo que hace menos pegajosa la masa y le permite una mayor retención de los gases. Parece ser que al final de la fermentación, agotado el oxígeno, se regenera algo del ácido ascórbico lo que debilita algo la masa y favorece su expansión. De todos modos, no debe considerar el pan al que se la ha adicionado este ácido como alimento rico en Vitamina C porque la reacción descrita la destruye (**Figura 5**).

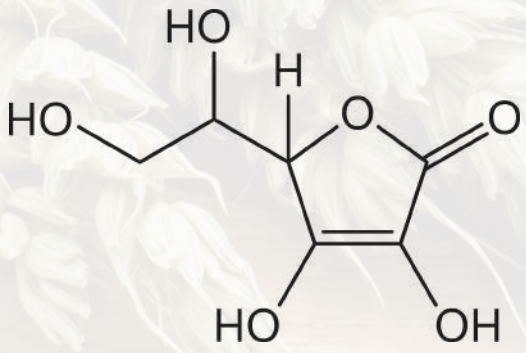


Figura 5. Ácido ascórbico.

   - *Antimohos*. El pan, sobre todo en atmósfera húmeda, es un buen campo de cultivo para los mohos, por ello en panes que se pretende conservar, se añaden antimohos, aunque su utilización está muy controlada por la ley.



Los más efectivos son el **propionato de calcio** que es el más utilizado, actúa sobre mohos y sobre otros microorganismos presentes en el pan. El ácido 2,4-hexadienoico (ácido 2-propenilacrilico) es muy eficaz a pH bajos pero ineficaz en medio básico. Se ha descrito algún caso de intoxicación, pero el cuerpo humano tolera hasta 25 mg/kg y día sin problemas. La sal potásica de ácido sórbico también se utiliza como antifúngico, pulverizándolo sobre el pan caliente en solución al 5%. Es poco eficaz como bactericida.

- *Antioxidantes.* Son sustancias que inhiben el *enranciamiento* de las grasas, que es una oxidación, por ello se usan en aquellos productos con buen contenido en grasas y que se desee conservar por largo tiempo. Pueden ser sintéticos o naturales. Los más corrientes de los primeros son el B.H.A. (butil-hidroxi-anisol)y el B.H.T. (butil hidoxi toluol anhidro). Los antioxidantes naturales más comunes son el **α-tocoferol** ($C_{28}H_{50}O_2$) (**Figura 6**) y el **γ-tocoferol** ($C_{28}H_{48}O_2$), que se aíslan de plantas. Las grasas que se enrancian son las que contienen enlaces dobles ya que la oxidación se produce sobre este enlace y puede producirse por vía química (*autoxidación*). Son reacciones con el oxígeno libre y es más rápida cuanta menos humedad tiene la masa, o por hidrólisis, catalizada por enzimas. La temperatura destruye los enzimas y este mecanismo no se produce en masas horneadas, pero si en cremas y coberturas. Está favorecida por la humedad.

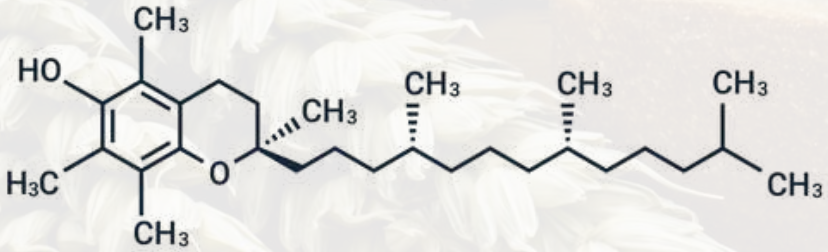


Figura 6. Alfa tocoferol.

- *Humectantes*: mantienen más tiempo la humedad de la masa retrasando su resecado o endurecimiento, el más común es el **sorbitol** ($C_6H_{13}O_6$) que se obtiene por hidrogenación catalítica de la glucosa, pasando el carbonilo a alcohol.
- *Enzimas*: son los biocatalizadores típicos. Las enzimas de panificación están presentes en la harina, pero su cantidad depende de muchos factores: grano, punto de maduración, condiciones climatológicas y edafológicas en que se ha producido etc., por eso se controla la cantidad precisa correcta para los procesos asociados a la panificación, adicionando enzimas producidas industrialmente.



Se añaden **amilasas** que rompen el almidón en grupos más sencillos. Las **proteasas**, que actúan sobre el gluten aflojando su estructura y dando una masa más blanda. Las proteasas bacterianas acortan la cadena de gluten y pueden hacerlo desaparecer por completo, y las **lipasas**, que oxidan los carotenoides, blanqueando la masa.

Después de muchos siglos de preparación artesana e intuitiva del pan, éste sigue siendo básico en el mundo occidental, su elaboración industrial se ha convertido en un proceso en una constante mejora tanto de las propiedades organolépticas y nutricionales, como las de conservación y aspecto gracias a un conjunto de aditivos que van desde la simple sal marina a otras sustancias conseguidas por la industria química o bioquímica. En la **Tabla 1** se resumen los principales aditivos su función, su código identificativo oficial y la dosis máxima recomendada.

Tabla 1: Principales aditivos químicos del pan (varios autores)

FUNCIÓN	ADITIVO	CÓDIGO	Dosis Recomendada (Sobre Harina)
Antioxidante	Ácido palmitil-L-ascórbico	E-304	500 ppm
	α-tocoferol	E-307	
	γ-tocoferol	E-308	
	Gelato de propilo	E-310	100ppm
	Gelato de duodecilo	E-312	100ppm
	Butil-hidroxi-anisol	E-320	200ppm
	Butil-hidroxitoluol	E-321	200ppm
Emulsionante	Lecitina	E-322	0,2 a 0,5 $g \cdot kg^{-1}$
	Diacetiltartrato de glicerilo	E-472e	0,2 a 0,5 $g \cdot kg^{-1}$
	Monoglicerido destilado	E-471	0,2 a 0, $g \cdot kg^{-1}$
	Esteaorillactilato de sodio	E-481	0,2 a 0,5 $g \cdot kg^{-1}$
	Esteaorillactilato de calcio	E-482	0,2 a 0,5 $g \cdot kg^{-1}$
Oxidante	Ácido ascórbico (ver texto)	E-300	
Humectante	Sorbitol	E-420	2 $g \cdot kg^{-1}$
Antimoho	Propionato de calcio	E-282	3 $g \cdot kg^{-1}$
	Sorbato de sodio	E-201	0,2 $g \cdot kg^{-1}$
	Sorbato de potasio	E-202	0,2 $g \cdot kg^{-1}$
	Sorbato de calcio	E-203	0,2 $g \cdot kg^{-1}$
	Diacetato de sodio	E-262	0,3 $g \cdot kg^{-1}$
	Acetato de calcio	E-263	0,3 $g \cdot kg^{-1}$
	Propionato de sodio (calcio)	E-281 (282)	0,3 $g \cdot kg^{-1}$
Regulador de pH	Ácido cítrico [ácido 3-hidroxi-1,3,5-pentanotricarboxílico]	E-330	



Bibliografía básica

1. BADGER, W.L. y BANCHERO, J.T. (1972): Introducción a la Ingeniería Química. Editorial del Castillo. Madrid.
2. CALLEJA PARDO, G. (Editor) y otros (1999): Introducción a la Ingeniería Química. Editorial Síntesis. Madrid.
3. COSTA NOVELLA, E. Y OTROS (1983): Ingeniería Química. Editorial Alhambra . Madrid.
4. FINAR, I. L. (1980): Química Orgánica. Tomo 2 Editorial Alhambra. Madrid.
5. LEUTHARDT, F. y EDLBACHER, S. (1962): Tratado de Química Fisiológica. Editorial Aguilar. Madrid.
6. SIN FIRMA. Especial. Sector de Panadería y Pastelería . Revista Alimentación Equipos y Tecnología. N° 220 Febrero Pag. 44-47.
7. https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/cultivos-herbaceos/cereales



Fotografía: Elena Espada Bernabé

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE MADRID