

BOLETÍN DE DIVULGACIÓN



Facultad de Ciencias Químicas. UCM



Julio: la química también juega en el Mundial 2026 II

Belén Yélamos López

Vicedecana de Ordenación Académica, Biblioteca y Divulgación

En el último boletín del curso analizamos a fondo la maquinaria invisible del futbolista en el Mundial 2026. Descubre cómo interactúan las hormonas, el cerebro y el metabolismo para ejecutar el pase perfecto.

Te explicamos cómo funciona nuestro fotoprotector natural más eficiente. Además, viajamos por la naturaleza para ver cómo esta increíble molécula ayuda a los camaleones a camuflarse, sirve de tinta defensiva para los calamares e incluso permite a ciertos hongos de Chernóbil alimentarse de la radiación nuclear.

Hacemos un recorrido histórico por el dopaje, desde las pócimas de la antigua Grecia y el uso militar del Pervitín en la Segunda Guerra Mundial, hasta los escándalos modernos del ciclismo y el atletismo, desvelando cómo la química analítica persigue estas trampas.

¡Os deseamos un feliz verano y nos vemos en el curso 2026-2027!

EN ESTE NÚMERO

NOTICIAS.....2

**LIBROS DE
DIVULGACIÓN.....15**

**LA INVESTIGACIÓN EN LA
FACULTAD17**

**HISTORIA DE LA
QUÍMICA.....21**



NOTICIAS DE DIVULGACIÓN



LA QUÍMICA DETRÁS DEL GOL: NEUROQUÍMICA, ENERGÍA Y EL MOTOR INVISIBLE DEL FUTBOLISTA

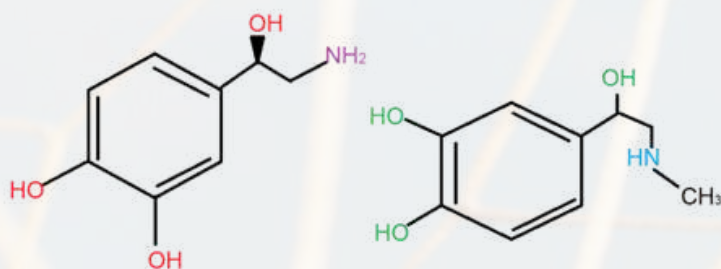
Belén Yélamos López

Dpto. Bioquímica y Biología Molecular

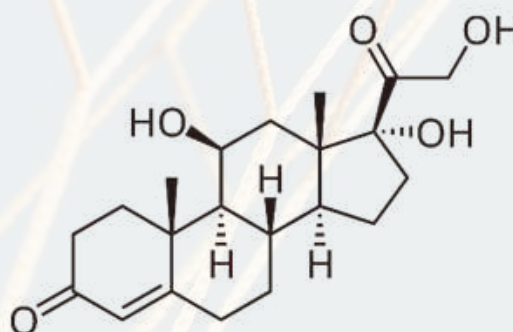
Un penalti en los últimos minutos de una final dura apenas unos segundos, pero en el organismo del lanzador están ocurriendo simultáneamente miles de procesos. El cerebro evalúa la posición del portero y controla la tensión muscular mientras el corazón se acelera, el hígado libera glucosa y las neuronas transmiten señales mediante cambios eléctricos y químicos. El fútbol es un deporte de decisiones rápidas y esfuerzos intermitentes; su rendimiento no depende de una "hormona de la victoria", sino de la intrincada interacción entre el sistema nervioso, el metabolismo y el entrenamiento.

El organismo se anticipa: hormonas y cerebro

La reacción fisiológica empieza antes del pitido inicial. El vestuario o el ruido del público activan el sistema nervioso simpático, liberando **adrenalina y noradrenalina** que aumentan la frecuencia cardíaca, favoreciendo el flujo sanguíneo hacia los músculos, y movilizan combustibles energéticos como la glucosa y los ácidos grasos almacenados. También puede elevarse el **cortisol**, una hormona esteroidea para mantener la disponibilidad energética frente al estrés. Lo más curioso es que nosotros, los espectadores de los partidos, también mostramos estas respuestas neurohormonales, aunque en menor grado. En un estudio realizado con espectadores de la final entre España y los Países Bajos en la Copa Mundial de Fútbol de la FIFA 2010, los aumentos en la secreción de cortisol eran mayores cuanto más apasionados eran los participantes por el fútbol. Además, concuerdan con la teoría de la autopreservación social, ya que la mayor secreción de cortisol observada entre los aficionados jóvenes y los más apasionados sugiere que, precisamente ellos, percibían que un resultado negativo del partido pondría en peligro su propia autoestima social.



Adrenalina y Noradrenalina



Cortisol

NOTICIAS DE DIVULGACIÓN



Jugar al fútbol exige integrar información visual y propioceptiva, que es la capacidad de saber en qué posición están las articulaciones sin mirarlas. Mientras las áreas motoras y el cerebelo ajustan la coordinación y el equilibrio, la comunicación neuronal depende de un equilibrio preciso entre neurotransmisores: el **glutamato** (excitador) y el **GABA** (inhibidor). La **dopamina** juega un papel crucial en la motivación y el aprendizaje: ayuda a actualizar la conducta cuando una jugada sale mejor o peor de lo esperado.

Por su parte, la **serotonina** regula el estado de ánimo, aunque su respuesta a una victoria es compleja y no se limita a una simple "subida" uniforme. Finalmente, moléculas como las **endorfinas** y otros péptidos opioides endógenos contribuyen a modular la percepción del dolor y generan la conocida euforia del deportista tras el esfuerzo.

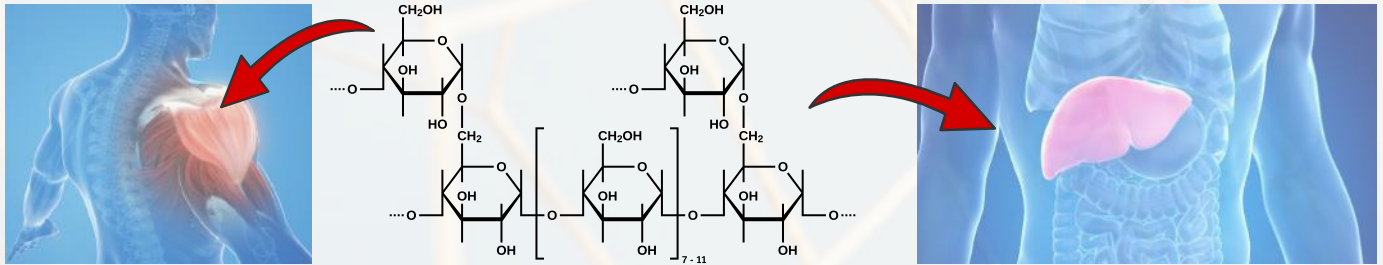
La Química de la Carrera: ATP y el Mito del Lactato

Para contraerse, los músculos necesitan **adenosín trifosfato (ATP)**. Dado que sus reservas son pequeñas, el cuerpo lo regenera mediante tres vías coordinadas:

1. **Fosfocreatina**: la enzima creatina quinasa transfiere un grupo fosfato de la fosfocreatina almacenada a una molécula de ADP para obtener ATP rápido en esfuerzos explosivos como sprints o disparos.
2. **Glucólisis**: cuando el ejercicio es muy intenso y la accesibilidad al oxígeno baja, el futbolista transforma el glucógeno y la glucosa en piruvato mediante esta ruta anaeróbica. Cuando este proceso es muy rápido, se genera lactato mediante la fermentación láctica. Hoy sabemos que el lactato no es un desecho tóxico ni el que causa agujetas, sino un combustible que el corazón o el hígado reutilizan.
3. **Metabolismo aeróbico**: utiliza oxígeno para oxidar grasas y carbohidratos de forma más lenta pero duradera, siendo la fuente principal durante la mayor parte del partido.

El combustible clave es el **glucógeno**, un polímero de glucosa que se almacena principalmente en músculos e hígado. Su agotamiento en los minutos finales afecta a la capacidad de repetir esfuerzos intensos, por lo que la nutrición debe asegurar depósitos adecuados y una recuperación óptima tras el juego. Por ello, los jugadores tratarán de tener los niveles más altos de glucógeno antes del partido. El día anterior, los futbolistas suelen consumir 8 g de hidratos de carbono por kg de peso y el día del partido siguen consumiendo este combustible para tener ese nivel máximo. Al final de los 90 minutos, cerca de la mitad de las fibras musculares han consumido su glucógeno.

NOTICIAS DE DIVULGACIÓN



Glucógeno

Síntesis de ATP en el músculo de un futbolista durante un partido

El ATP se consume rápidamente y debe regenerarse por tres vías coordinadas.



Vías de síntesis de ATP. Imagen generada con ChatGPT

El reto del Mundial 2026

El Mundial de 2026 plantea un desafío particular por su extensión geográfica, con partidos en Canadá, México y Estados Unidos, obligando a los cuerpos médicos a planificar la aclimatación al calor, la altitud (que reduce el oxígeno disponible) y el *jet lag*.



En **ambientes calurosos** aumenta el flujo de sangre hacia la piel y la producción de sudor. Esto ayuda a eliminar calor, pero obliga al sistema cardiovascular a repartir el flujo entre los músculos y la superficie corporal. Si la humedad es elevada, el sudor se evapora peor y su capacidad para enfriar disminuye. Por ello, la hidratación es vital. Se debe reponer agua y sodio perdidos por el sudor, evitando tanto la deshidratación como la ingesta excesiva que podría causar **hiponatremia**. De ahí, las establecidas pausas de hidratación a mitad de cada tiempo.

NOTICIAS DE DIVULGACIÓN



La **altitud** introduce otro reto. A medida que se asciende disminuye la presión atmosférica y, con ella, la presión parcial de oxígeno. La proporción de oxígeno del aire continúa siendo aproximadamente la misma, pero cada inspiración aporta menos moléculas de oxígeno al organismo. Esto puede reducir el rendimiento aeróbico hasta que se produce una aclimatación parcial.



Los **desplazamientos** entre sedes pueden alterar además el ritmo circadiano. La luz, la melatonina, la temperatura corporal y los horarios de comida participan en el ajuste del reloj biológico. Dormir mal perjudica la atención, el tiempo de reacción, el estado de ánimo y la recuperación.

Para combatirlo, el mercado ofrece suplementos pero solo unos pocos cuentan con evidencia sólida: la **cafeína** que reduce la percepción del esfuerzo o la **creatina** para aumentar la fosfocreatina muscular. Sin embargo, presentan riesgos de contaminación por sustancias no declaradas, activando el principio de responsabilidad objetiva en controles antidopaje.

Dopaje y química analítica

La Agencia Mundial Antidopaje prohíbe sustancias como los **esteroides anabolizantes**, derivados de la testosterona que facilitan el desarrollo muscular pero pueden dañar el hígado y el sistema cardiovascular; la **eritropoyetina o EPO** que aumenta los glóbulos rojos, pero eleva el riesgo de trombosis al volver la sangre más viscosa; **estimulantes** que pueden reducir temporalmente la sensación de fatiga y aumentar la activación pero al mismo tiempo incrementan la carga cardiovascular y pueden alterar el juicio y la conducta; **diuréticos** para aumentar la eliminación de agua y sales por la orina. Con ello, se modifica rápidamente el peso o se diluyen otras sustancias en una muestra. Sus riesgos incluyen deshidratación, alteraciones electrolíticas y arritmias.

Para detectarlos, la **química analítica** emplea la **cromatografía de gases o líquida** para separar los compuestos de la sangre o la orina, y la **espectrometría de masas** para identificar su "*huella molecular*" según su relación masa-carga. Incluso se miden las relaciones isotópicas de carbono (carbono-12 y carbono-13) para distinguir si una hormona es natural o industrial. Además, el Pasaporte Biológico monitoriza las variables del deportista a lo largo del tiempo para detectar anomalías. Las **Autorizaciones de Uso Terapéutico (AUT)** regulan el uso médico legítimo de estas sustancias, demostrando que ninguna molécula es mala por sí misma, sino que la diferencia radica en la dosis y la intención. En el apartado "**Historia de la Química**" puedes conocer más sobre la historia del dopaje, cómo apareció y cómo ha ido evolucionando a lo largo de los años.

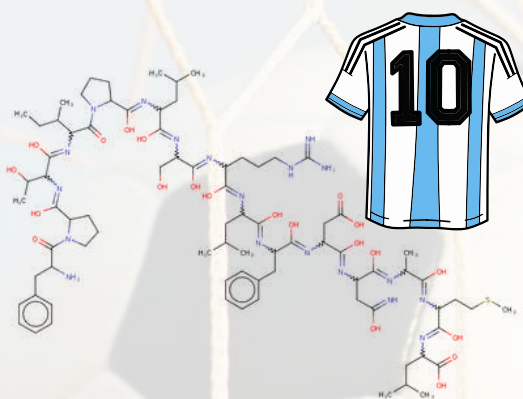
NOTICIAS DE DIVULGACIÓN



El límite entre tratamiento y dopaje. Messi y la química de la Hormona del Crecimiento

Es bien sabido que a los 9 años, en Rosario, **Lionel Messi** fue diagnosticado con un déficit de la **hormona del crecimiento (GHD)**. El FC Barcelona se hizo cargo de su costoso tratamiento diario con inyecciones cuando fichó por el club a los 13 años.

La **somatotropina** es una hormona peptídica de 191 aminoácidos, producida por la glándula pituitaria (o hipófisis), encargada de estimular el crecimiento físico, la reproducción celular y la regeneración en el cuerpo. En el caso de un futbolista, este eje endocrino no solo regula la estatura y el crecimiento óseo, sino que estimula la síntesis proteica mitocondrial y la retención de nitrógeno en las células satélite del tejido muscular, acelerando drásticamente la reparación de microrroturas musculares tras el ejercicio físico intenso.



Somatotropina

La hormona del crecimiento exógena está estrictamente prohibida por la Agencia Mundial Antidopaje por ser un potente agente anabólico y lipolítico. Messi requirió autorizaciones médicas y endocrinas estrictas (el equivalente a las actuales AUT) porque el tratamiento cubría un déficit clínico real para devolver su organismo a rangos fisiológicos normales, no para obtener una ventaja artificial sobre el resto.

Como ves, la química explica por qué un futbolista puede repetir un esprint, aprender un regate o sentir cómo el corazón se acelera antes de un penalti. También explica por qué determinadas sustancias pueden alterar artificialmente el rendimiento y por qué detectarlas requiere técnicas cada vez más sensibles. El verdadero logro deportivo no consiste en escapar de la química del cuerpo, sino en conocerla, entrenarla y respetarla.

¡Esperemos que la química funcione y se eleven todos los niveles de hormonas necesarios para que caiga la segunda estrella!

¡Esperemos que la química funcione y se eleven todos los niveles de hormonas necesarios para que caiga la segunda estrella!



NOTICIAS DE DIVULGACIÓN



Referencias

- Brooks, G. A. "Lactate doesn't necessarily cause fatigue: why are we surprised?". J. Physiol. 2001.
- Cervell de Sis. "Fútbol, hormonas al ataque". La Vanguardia/UB. 2012.
- Texto Halford, B. "How biochemistry fuels World Cup athletes". c&en. 2026.
- Jiménez, M. et al. "Competition Seriousness and Competition Level Modulate Testosterone and Cortisol Responses in Soccer Players". Int. J. Environ. Res. Public Health. 2020.
- Jiménez, M. et al. "The cortisol awakening response (CAR) of elite athletes is elevated before a competition, but no interaction with sport type". Psychoneuroendocrinology. 2026
- McArdle, W., Katch, F., Katch, W.L. "Exercise Physiology: Nutrition, Energy, and Human Performance". Lippincott Williams & Wilkins. 2023
- Morgans, R., Orme, P., Bezuglov, E., Di Michele, R., Moreira, A. "The Immunological and Hormonal Responses to Competitive Match-Play in Elite Soccer Players". Int. J. Environ. Res. Public Health. 2022.
- UEFA expert group statement on nutrition in elite football. "Current evidence to inform practical recommendations and guide future research". British J. Sports Med. 2020.
- van der Meij, L. et al. "Testosterone and Cortisol Release among Spanish Soccer Fans Watching the 2010 World Cup Final". PLOS One. 2012
- World Anti-Doping Code and International Standards. Prohibited List.

La Química del Deporte Rey: Ciencia en el Campo

El Jugador: Laboratorio en Movimiento

Testosterona: El Motor de la Agresión
Esta hormona aumenta antes de la competición para preparar los recursos energéticos del organismo y modular la conducta competitiva.

Cortisol: La Respuesta al Estrés
Los niveles de cortisol suben durante el partido, aunque los deportistas de élite suelen mostrar niveles más bajos al adaptarse mejor a la presión.

Serotonina: La Química de la Victoria
Tras el éxito, las neuronas liberan serotonina, promoviendo sensaciones de euforia, satisfacción y un aumento de la autoestima.

Balón Trionda: Inteligencia en Vuelo
Construido con poliuretano impermeable, incluye un sensor de 500 Hz que envía datos al VAR para detectar fuera de juego y goles fantasma.

Arquitectura de Policarbonato:
Los estadios modernos emplean policarbonatos ligeros y transparentes para sus techos, permitiendo diseños atrevidos y resistentes.

Guantes de Látex (Cis-1,4-poliisopreno)
Este elastómero es crucial para los porteros, ya que absorbe el impacto del balón y recupera su forma original instantáneamente.

Camisetas de Poliéster y Lycra
El poliéster absorbe solo un 0,4% de agua frente al 7% del algodón, mientras que la lycra permite distensiones de hasta un 600%.

Botas de Alto Rendimiento
Utilizan PVC y poliuretanos termoplásticos para ofrecer ligereza, resistencia al choque y una distribución óptima de la presión del pie.

Césped Natural y Sintético
El césped natural requiere abonos de nitrógeno, fósforo y potasio, mientras que el sintético mezcla polietileno, polipropileno y látex.

El Escenario de la Victoria

Composición de la Copa del Mundo:
El trofeo máximo del fútbol está compuesto por oro de 18 quilates y bases de malaquita.

NotebookLM

NOTICIAS DE DIVULGACIÓN



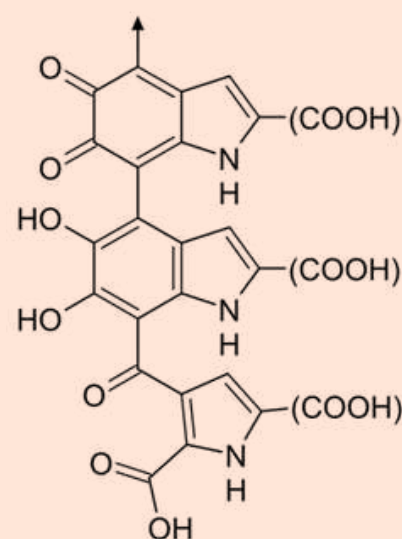
MELANINA: EL FASCINANTE PROTECTOR QUE LLEVAMOS "DE FÁBRICA"

Álvaro Martínez del Pozo

Dpto. Bioquímica y Biología Molecular

Estamos en pleno mes de julio, ya bien entrados en el verano, y seguro que a todos se nos plantea de cuestión de **cómo protegerse del sol**. No es una cuestión menor, si bien para los habitantes de los países mediterráneos resulta fácil responder, pues estamos acostumbrados a convivir con la radiación electromagnética de nuestra estrella. ¿Cuál es entonces esta respuesta? Pues mantenerse el mayor tiempo posible a la sombra... Algo que no entienden los ciudadanos de los países nórdicos, que solo ven el sol unas pocas semanas al año y visitan nuestro país con el afán de darse un atracón de luz ultravioleta, con las nefastas consecuencias conocidas por todos. Independientemente de nuestro comportamiento en estas circunstancias, también debemos saber que venimos "*dotados de fábrica*" con un protector solar magnífico, la **melanina**. Una molécula que, bien administrada, puede ayudarnos a rebajar el volumen de cremas protectoras que necesitamos utilizar. Si bien es verdad que esta administración depende no sólo de nuestro comportamiento, no sólo de cómo y cuánto nos exponamos al sol, sino también de nuestra dotación genética. De forma general, como creo que todos sabemos, se puede afirmar que la producción de esta molécula está genéticamente favorecida siguiendo un gradiente que aumenta desde los polos hacia el ecuador, donde es mayor la exposición a la luz solar.

¿Qué es entonces esta molécula que llamamos melanina? Pues lo primero que debemos señalar es que no es una única molécula, sino una colección de ellas. Así, bajo el nombre genérico de **melaninas** se agrupan toda una serie de moléculas relacionadas entre sí que constituyen unos pigmentos oscuros que se hallan en la mayor parte de los seres vivos. Son moléculas orgánicas, con varios anillos aromáticos que, en los animales, se derivan del aminoácido tirosina. Su forma más común es la **eumelanina**, un pequeño polímero, de color negro-marrón, formado por ácidos carboxílicos de dihidroindol y sus formas reducidas.



Eumelanina

NOTICIAS DE DIVULGACIÓN



La melanina es determinante del color del pelo y la piel humana, por ejemplo. En el caso de la piel, bajo la acción del sol se estimula su síntesis, como medida de protección, lo que explica el **fenómeno del bronceado**. Se dice que la melanina protege la piel contra las radiaciones solares porque las absorbe, disminuyendo así el daño producido por la radiación ultravioleta en el ADN. Es un fotoprotector muy eficiente (mejor que cualquier crema solar) porque transforma la energía de la radiación ultravioleta en un calor que resulta inofensivo, previniendo así el daño directo del ADN. Últimamente se especula si la melanina también tiene una función hormonal o, incluso, si actúa como cooperadora con el sistema inmunitario, pero ninguna de las dos cosas está plenamente probada.

La melanina dérmica es producida por unas células especializadas denominadas **melanocitos**, que raramente se encuentran en las capas superficiales de la epidermis. Sin embargo, aunque generalmente todos los seres humanos poseen concentraciones similares de esos melanocitos, sí se observan grandes variaciones entre individuos, según se produzca más o menos melanina en ellos. Esto vale tanto para humanos como para cualquier otro animal.

El pelo, como también tiene melanina, juega otro papel principal en la protección contra la radiación solar. De hecho, si se afeita a un chimpancé, por ejemplo, nos sorprenderá ver que su piel es completamente rosada, precisamente porque tiene pelo por todo el cuerpo. No necesita ponerse moreno.

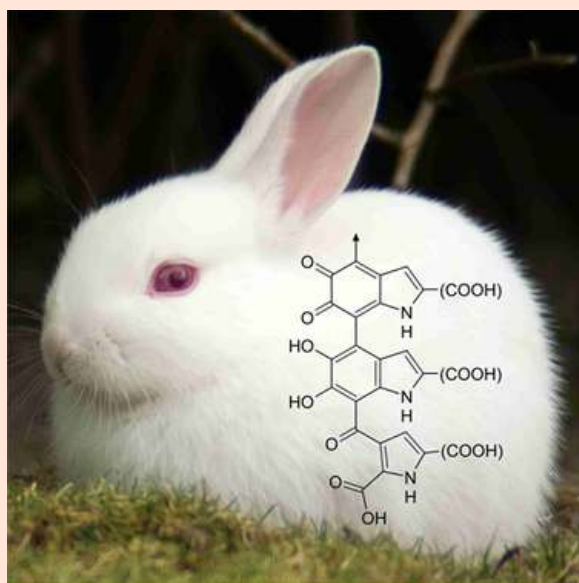
La melanina también ayuda a proteger los ojos de la luz ultravioleta, así como de la luz visible de alta frecuencia; por ello la gente de ojos azules se encuentra en mayor riesgo de padecer problemas relacionados con la radiación solar. Todos sabemos también que los cristalinos de los ojos amarillean con la edad. Ese color amarillo no es sino el reflejo del deterioro del cristalino, fruto del envejecimiento, que se vuelve menos transparente y más rígido, afectando a la capacidad de cambiar de forma para enfocar de lejos a cerca (la **presbicia**), un daño inducido, entre otros factores, por la inevitable la exposición a los rayos ultravioleta.

La melanina juega un papel importante en los tratamientos de estética que conocemos como depilación láser. En este caso, lo que ocurre es que se irradia con luz de alta intensidad, muy bien focalizada, que es absorbida por la melanina del pelo. Ello produce suficiente calor como para matar definitivamente a la célula que lo produce. Por este motivo, este tipo de tratamientos no se pueden aplicar a personas que tienen el pelo muy claro, o bien la piel muy oscura. Les produciría quemaduras...

NOTICIAS DE DIVULGACIÓN



Es también claro que la melanina se relaciona con el **albinismo**. En los mamíferos se da el caso de que algunos individuos carecen de melanina, o bien la tienen en muy bajas concentraciones, lo que produce esta condición conocida como albinismo. El monísimo conejito blanco que podemos comprar en la tienda de animales no es sino un pobre animal mutante con una variante genética que no le permitiría sobrevivir en condiciones de libertad, precisamente por su falta de melanina. En este caso, no sólo sería un problema de radiación solar, sino también de camuflaje. Quedaría a merced de los depredadores. En el caso de la liebre ártica, por ejemplo, su color blanco la protege en invierno porque se mimetiza perfectamente con la nieve. Pero en verano, por el contrario, como ya hay mucha más luz y mucha menos nieve, la síntesis de melanina se estimula de nuevo y su pelaje se vuelve mucho más oscuro.

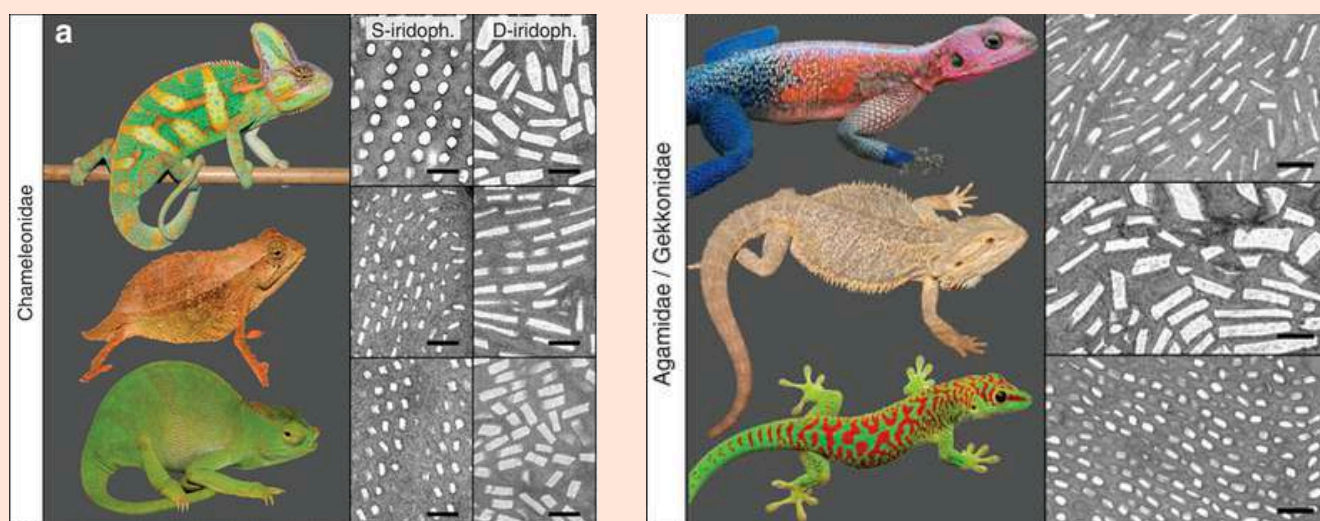


En sociedades más o menos avanzadas ser albino no suele suponer un gran problema. Obviamente, los albinos deben tener cuidado con la radiación solar en general, minimizando así potenciales problemas cutáneos y oculares. Situaciones mucho más dramáticas son las de los individuos albinos en las sociedades rurales africanas. En este caso, a los inherentes problemas de vivir en regiones tan soleadas sin poder sintetizar melanina (cáncer, ceguera, etc.), se añade el estigma de que se les cree poseídos por demonios o, incluso, que algunos elementos de su anatomía poseen propiedades mágicas. Todo ello desencadena una brutal persecución por parte de algunos de sus conciudadanos que puede terminar con su muerte. Un ejemplo más de cómo la ignorancia y la superstición no son necesariamente inofensivas.

NOTICIAS DE DIVULGACIÓN



La melanina y la nucleobase **guanina** son dos de los principales compuestos responsables del cambio de color de los camaleones, los campeones del camuflaje. Los camaleones son capaces de cambiar rápidamente de color por la presencia en su piel de diferentes células especializadas. Unas contienen melanina, que contribuyen al mayor o menor oscurecimiento de la piel de estos reptiles, según hemos explicado ya. Pero hay otras, los iridóforos, que contienen cristales de guanina que son de tamaño nanométrico y forman una compacta y bien ordenada red. Un descubrimiento que se llevó a cabo al investigar por qué camaleones de color verde brillante no contenían ningún pigmento de ese color en su piel. Cuando el camaleón quiere parecer más oscuro, simplemente la melanina fluye hacia la superficie de su piel. Sin embargo, cuando solo quiere cambiar de color, lo que ocurre es que cambia el empaquetamiento de los cristales de guanina, se agrupan o se separan. Funcionan como una auténtica red de difracción y son capaces de descomponer la luz blanca que incide sobre su piel en los diferentes colores del arco iris, según les convenga. Simplificando un poco, se puede afirmar que esta red de nanocristales de guanina actúa como un auténtico caleidoscopio incrustado en la piel de estos animales.



Los cristales de guanina tienen un índice de refracción diferente al del citoplasma de los iridóforos. Cuando el camaleón se encuentra en un estado relajado (izda.), los cristales están más cerca y el índice de refracción efectivo es más próximo al de la guanina, con lo que la reflectividad en el espectro visible es mayor para las longitudes de onda azules. En estado excitado (drcha.), la piel está más estirada, los iridóforos están más hinchados y los cristales están más separados, por lo que el índice de refracción efectivo es más bajo (más cercano al del citoplasma), con lo que la reflectividad en el espectro visible para colores verdes y rojos crece. Imagen: [Blog "La ciencia de la mula Francis"](#).

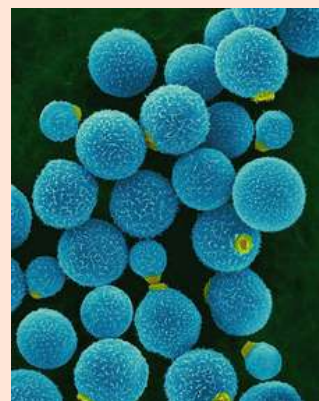
Los **hongos radiotróficos** son microorganismos que también usan melanina, pero en este caso lo hacen para convertir la radiación electromagnética gamma en energía química, que utilizan para su crecimiento.

NOTICIAS DE DIVULGACIÓN



Este mecanismo podría ser similar al de fijación del carbono de los organismos que capturan fotones de la luz visible por medio de pigmentos como la **clorofila**, para luego utilizar su energía en la generación de ATP y poder reductor, desembocando finalmente en la fotólisis del agua. Es decir, serían hongos “*fotosintéticos*” que trabajan en una zona del espectro de radiaciones electromagnéticas muy alejada de la que podemos ver los seres humanos. Sin embargo, aún se desconoce si los hongos que contienen melanina emplean una ruta metabólica equivalente a la de la fotosíntesis, o si usan algún otro tipo de ruta de quimiosíntesis, como yo creo que es lo más probable.

Este tipo de hongos fueron descubiertos en 1991, donde aparecieron como un moho negro creciendo dentro, y en las cercanías, del reactor número 4 de la central nuclear de Chernóbil. Paradójicamente, el desgraciado accidente de esta central nuclear no solo produjo daños devastadores sino que también ha contribuido a la realización de grandes descubrimientos científicos... Estudios realizados en el *Albert Einstein College of Medicine* mostraron que tres especies de hongos ricos en melanina, *Cladosporium sphaerospermum*, *Wangiella dermatitidis*, y *Cryptococcus neoformans* (éste es un hongo bastante corriente, por cierto, que se puede encontrar en los excrementos de las palomas), aumentaban su biomasa y acumulaban acetato (“*comían*”) más rápidamente en un ambiente en el que los niveles de radiación eran 500 veces mayores a los de un ambiente no contaminado.



(Izda.: *Cladosporium sphaerospermum*, el hongo negro que sobrevive en Chernóbil gracias a la radiación. Imagen: [National Geographic](#). Drcha.: *Cryptococcus neoformans*.)

Los autores observaron efectos similares en la capacidad de transporte de electrones de estos hongos luego de exponerlos a radiación no ionizante, sugiriendo que estos hongos melanóticos también podrían ser capaces de usar luz o radiación calórica para su crecimiento, lo cual parece ser bastante más lógico, dado que no hay muchas fuentes naturales de emisión de radiación gamma (dejando el sol aparte, por supuesto).

NOTICIAS DE DIVULGACIÓN



También se ha observado que, a pesar de que son muchos los hongos capaces de producir melanina, no lo hacen constitutivamente (es decir, de manera continuada y durante todo el tiempo), sino que la producen como respuesta a un estímulo externo durante diferentes etapas de su desarrollo. En esta misma línea, hay muchos datos que apoyan una relación entre la cantidad de melanina y la mayor virulencia de cepas de ciertos hongos patógenos por su papel inmunomodulador. Generalizando, tal vez demasiado, podemos afirmar que los hongos más virulentos son los más oscuros y también que la mayoría de ellos producen melanina como respuesta a las agresiones. Este segundo aspecto también se observa en muchos insectos, por cierto, especialmente durante sus estadios de larva y pupa. Se habla de **melanización** como un mecanismo de defensa.

La melanina también nos remite a los **cefalópodos** (calamares, sepias y pulpos), curiosamente otros maestros del camuflaje, y los invertebrados más inteligentes conocidos. Nosotros seríamos los vertebrados más inteligentes conocidos ¿no? ¿Tendrá algo que ver la melanina? Bueno, bromas aparte, como todos hemos observado en alguna ocasión (aunque solo sea en nuestro plato durante una comida) la tinta de los cefalópodos, sabemos de sobra que es un pigmento oscuro, prácticamente negro, que producen y expulsan, como estrategia de evasión. Esta tinta sale de unas glándulas ubicadas entre sus branquias y se expulsa por las aberturas laterales (el sifón que usan para desplazarse), cuando el cefalópodo se encuentra en peligro, dejando un rastro oscuro que permite desorientar al atacante. El color oscuro del pigmento se debe precisamente a su contenido de melanina. Un contenido que varía en función de su color pues no todos estos animales producen tinta idéntica. Por ejemplo, los calamares comunes expulsan una tinta muy negra, mientras que la tinta de las sepias suele ser precisamente de ese color, color sepia. Por eso el color sepia recibe ese nombre.



Un pulpo expulsando tinta.

NOTICIAS DE DIVULGACIÓN

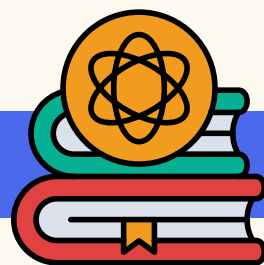


Recapitulando, las melaninas son una **familia de moléculas derivadas de la tirosina**, que constituyen pigmentos oscuros, capaces de interaccionar con radiaciones electromagnéticas de muchas longitudes de onda y que aparecen en multitud de organismos, donde también ejercen muchas y muy variadas funciones. Funciones que casi siempre son fruto de una reacción, más o menos sofisticada, frente a diversos tipos de agresiones. **La melanina existe para protegernos**. Seamos nosotros prudentes este verano y hagamos un buen uso de ella.

Saber más

- ["A hombros de gigantes"](#). RNE. Minuto 32'30"
- [Moléculas de la vida: melanina](#). SEBBM

LIBROS DE DIVULGACIÓN

**De Saturno a la locura**

Martínez Camarena, Á.

El autor propone un recorrido por el Museo del Prado para descubrir la ciencia que habita en la pintura.

Smithsonian Books

MAX PLANCK

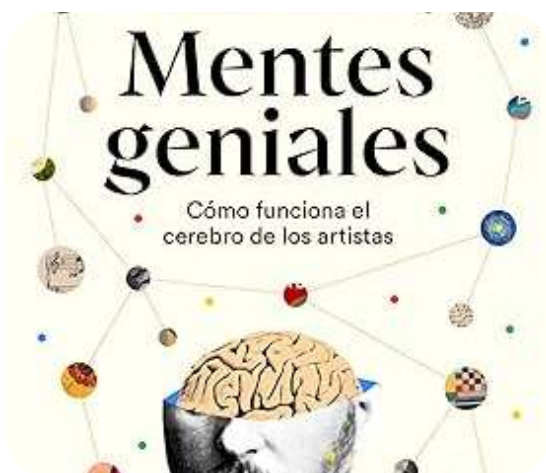
La teoría cuántica

La revolución de lo muy pequeño**Max Planck, la teoría cuántica :la revolución de lo muy pequeño**

Pérez Izquierdo, A.

Explora cómo el físico alemán Max Planck transformó la ciencia al postular en 1900 que la energía no es continua, sino que se emite en pequeños paquetes discretos llamados cuantos.

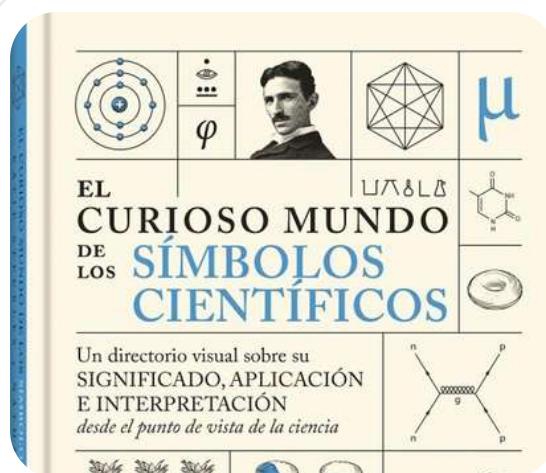
RBA

**Mentes geniales: Cómo funciona el cerebro de los artistas**

de la Piedra Walter, M.

De Dostoyevski a Borges, de Kandinski y Van Gogh a Frida Kahlo, Andy Warhol o Leonora Carrington, las obras de grandes creadores a los que admiramos estuvieron marcadas por sus condiciones mentales.

Debate

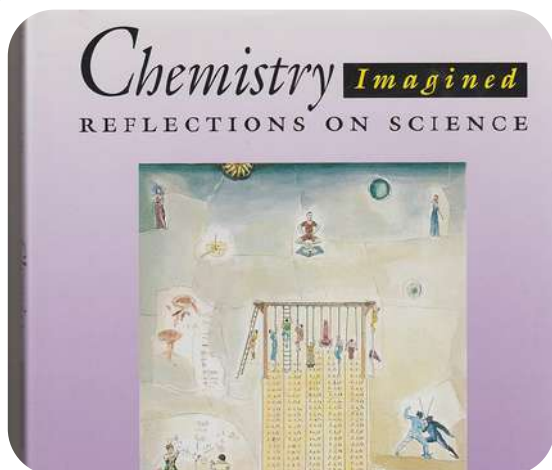
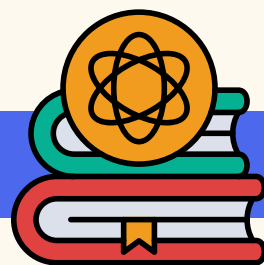
**El Curioso mundo de los símbolos científicos**

Steckles, K.

El curioso mundo de los símbolos científicos revela la historia, el significado y la aplicación tanto de los símbolos que utilizamos a diario como de aquellos que pertenecen a ramas más inextricables de la ciencia.

Librero IBP

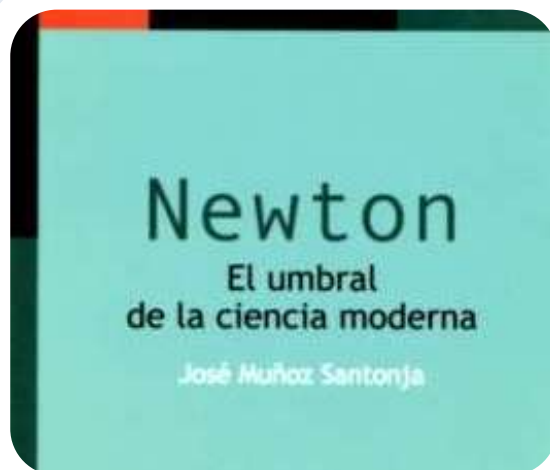
LIBROS DE DIVULGACIÓN

**Chemistry imagined: reflections on science**

Hoffmann, R., Torrence, V.

Collages, ensayos breves, comentarios personales y poemas para mostrar la magia y los misterios de su campo y destacar los aspectos sociales, literarios y psicológicos de la química.

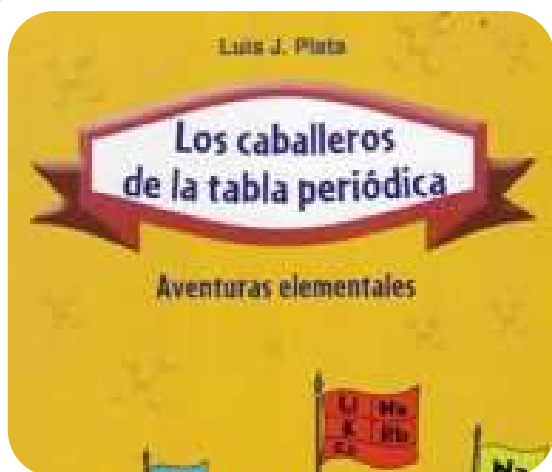
Smithsonian Books

**Newton: el umbral de la ciencia moderna**

Muñoz Santonja, J.

Isaac Newton es, sin duda, el científico del que más personas recuerdan haber oído hablar, a lo que no es ajena su vinculación con cierta famosa fruta. Newton ordenó el sistema del universo y revolucionó la física y las matemáticas.

Nívola

**Los caballeros de la tabla periódica: aventuras elementales**

Plata Rosas, L. J.

Utilizando un contexto fantástico -la época del rey Arturo- para explicar de forma divertida cómo surgieron los elementos químicos y los misterios detrás de la tabla periódica.

Selector

**El Carbono. Cuentos Orientales**

Bosch Giral, P.

Estos textos compaginan la magia y la literatura con la ciencia. Ofrecen una visión panorámica de la historia del carbono y de la sociedad islámica de los siglos IX y X, basándose en historias de "Las mil y una noches".

Fondo Cultura Económica

LA INVESTIGACIÓN EN LA FACULTAD



From Leuco to Blue: Photochemical Redox Amplification for Small-Molecule Immunodetection

Tamara Moya-Cavas, Elena Benito-Peña, Arev Sargsyan, Antonio Abad-Fuentes, Guillermo Orellana



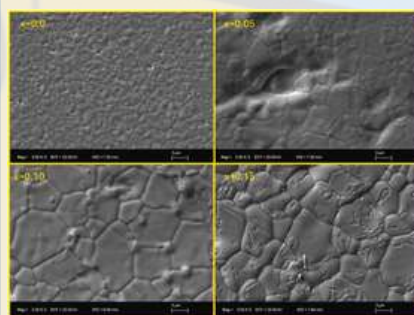
J. Am. Chem. Soc. 2026
<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jacs.6c06373>

El Grupo de Sensores Químicos Ópticos y Fotoquímica Aplicada (GSOLFA) de la UCM, dirigido por Guillermo Orellana, ha desarrollado una estrategia sin precedentes utilizando la luz, fotocatalizadores y sin utilizar enzimas, para la amplificación de inmunoensayos de fluorescencia. Gracias a los anticuerpos suministrados por el Instituto de Agroquímica y Tecnología de los Alimentos (IATA) del CSIC, el potencial de la fotocatálisis secuencial de dos colores, basada en $[Ru(phen)_3]^{2+}$ y azul de metileno, se ha demostrado en un inmunoensayo competitivo para la micotoxina zearalenona, pero podría extenderse fácilmente a otros formatos y ensayos (incluidos los biomiméticos), en los que los derivados del benzoi-leuco azul de metileno puedan conjugarse con el analito de pequeño tamaño o con el anticuerpo secundario. Aún sin optimización, ¡ya se han alcanzado factores de amplificación de tres dígitos!

(Copyright © 2026 The Authors. Published by American Chemical Society. This publication is licensed under CC-BY 4.0.)

Proton conduction in the weberite-related $(SmEuGd)_{1-x}Ca_xNbO_{7-\delta}$ medium-entropy oxides synthesized by freeze-drying

M. González-Rodríguez, S. Savvin, D. Ávila, P. Núñez



Ceramic Int. 2026
<https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2026.06.344>

Los óxidos de composición compleja, en particular los de entropía media, se están imponiendo como una nueva clase de materiales funcionales que combinan una estabilidad estructural excepcional con propiedades de transporte ajustables. En este trabajo, presentamos la síntesis, la caracterización estructural y el comportamiento eléctrico de los óxidos de entropía media $(SmEuGd)_{1-x}Ca_xNbO_{7-\delta}$ ($x = 0,0; 0,05; 0,10$ y $0,15$), preparados mediante liofilización. El refinamiento de Rietveld de los patrones de difracción de rayos X confirmó una estructura monofásica relacionada con la weberita (grupo espacial $Ccmn$, n.º 63) para la mayoría de las composiciones. Esto concuerda con las observaciones mediante microscopía electrónica de transmisión (TEM) de alta resolución, que muestran una red estructuralmente homogénea, aunque se observaron características de dominios locales de 90° en determinadas composiciones. Los mejores resultados en términos de conductividad eléctrica se obtuvieron para las muestras con $x = 0,10$ y $x = 0,15$. La espectroscopia de impedancia eléctrica reveló conductividades totales de hasta $7,15 \times 10^{-5} \text{ S cm}^{-1}$ a 823 K en atmósfera húmeda de argón. Se observa una mejora notable en comparación con las condiciones secas, lo que demuestra una contribución significativa de los protones. Los valores absolutos de conductividad obtenidos son similares a los descritos para los materiales de tipo fluorita, que oscilan entre 10^{-5} y $10^{-6} \text{ S cm}^{-1}$ a $773\text{-}873 \text{ K}$. La reducción parcial de Nb^{5+} observada en el compuesto de partida $(SmEuGd)NbO_7$ en atmósfera de H_2 se suprimió eficazmente tras el dopaje con Ca, lo que sugiere una mayor estabilidad redox. Estos resultados demuestran que la estabilización entrópica y el dopaje aliovalente actúan de forma sinérgica para crear cerámicas homogéneas y conductoras de protones, diseñadas específicamente para aplicaciones en pilas de combustible de temperatura intermedia.

LA INVESTIGACIÓN EN LA FACULTAD



[FeFe]-Hydrogenase Mimics Bearing Germylene Ligands: Synthesis, Protonation, and Electrochemical Properties

Sergio Aguado, Javier A. Cabeza, Pablo García-Álvarez, Mar Gómez-Gallego, Miguel A. Sierra



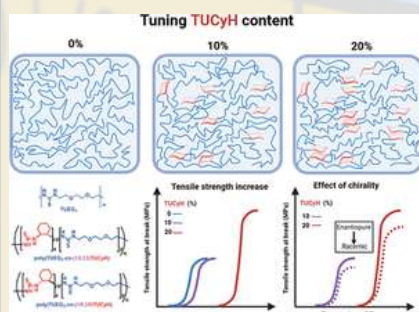
ChemistryEurope, 2026

<https://doi.org/10.1002/ceur.70324>

Este trabajo demuestra que la presencia de ligandos de germileno de marcada basicidad en miméticos de la [FeFe]-hidrogenasa del tipo $[\text{Fe}_2(\mu\text{-S}_2\text{X})(\text{E})_n(\text{CO})_{6-n}]$ ($\text{S}_2\text{X} = (\text{SCH}_2)_2\text{N}(\text{p-MeOC}_6\text{H}_4)$ (adt), $(\text{SCH}_2)_2\text{CH}_2$ (pdt); $\text{E} =$ amidinatogermileno; $n = 1, 2$; complejos 1-4), influye considerablemente en la protonación y el comportamiento electrocatalítico (reducción de protones) de los miméticos, ya que estos ligandos auxiliares aumentan adecuadamente la densidad electrónica del núcleo [FeFe]. Así, los estudios electroquímicos sobre 1-4 muestran desplazamientos catódicos con respecto a los complejos totalmente de CO $[\text{Fe}_2(\mu\text{-S}_2\text{X})(\text{CO})_6]$. Mediante la protonación con ácido trifluoroacético (TFA), los complejos 1-4 forman complejos catiónicos estables con puentes de hidruro a temperatura ambiente, los cuales, en el caso de los complejos con puentes adt, surgen de la transferencia del protón NH desde un fragmento adt, surgen de la transferencia del protón NH desde un fragmento adt transitoriamente protonado en N al núcleo [FeFe]. Este proceso de transferencia de protones se ha detectado ahora espectroscópicamente mediante RMN de ^1H a baja temperatura. Los estudios electrocatalíticos con TFA demuestran actividad en la reacción de evolución de hidrógeno (HER) y altas frecuencias de recambio, especialmente para los derivados adt 1 y 2.

Chirality-Enhanced Mechanics in a Dynamic Polymer Network

Francisco Rey-Tarrío, Andrea Dalla Valle, Roxanne E. Kieltyka, Luis Sánchez



ACS Appl. Polym. Mater. 2026

<https://doi.org/10.1021/acsapm.6c01477>

Los óxidos de composición compleja, en particular los de entropía media, se están imponiendo como una nueva clase de materiales funcionales que combinan una estabilidad estructural excepcional con propiedades de transporte ajustables. En este trabajo, presentamos la síntesis, la caracterización estructural y el comportamiento eléctrico de los óxidos de entropía media $(\text{SmEuGd})_{1-x}\text{Ca}_x\text{NbO}_{7-\delta}$ ($x = 0,0; 0,05; 0,10$ y $0,15$), preparados mediante liofilización. El refinamiento de Rietveld de los patrones de difracción de rayos X confirmó una estructura monofásica relacionada con la weberita (grupo espacial Ccmm, n.º 63) para la mayoría de las composiciones. Esto concuerda con las observaciones mediante microscopía electrónica de transmisión (TEM) de alta resolución, que muestran una red estructuralmente homogénea, aunque se observaron características de dominios locales de 90° en determinadas composiciones. Los mejores resultados en términos de conductividad eléctrica se obtuvieron para las muestras con $x = 0,10$ y $x = 0,15$. La espectroscopia de impedancia eléctrica reveló conductividades totales de hasta $7,15 \times 10^{-5} \text{ S cm}^{-1}$ a 823 K en atmósfera húmeda de argón. Se observa una mejora notable en comparación con las condiciones secas, lo que demuestra una contribución significativa de los protones. Los valores absolutos de conductividad obtenidos son similares a los descritos para los materiales de tipo fluorita, que oscilan entre 10^{-5} y $10^{-6} \text{ S cm}^{-1}$ a 773-873 K. La reducción parcial de Nb^{5+} observada en el compuesto de partida $(\text{SmEuGd})\text{NbO}_7$ en atmósfera de H_2 se suprimió eficazmente tras el dopaje con Ca, lo que sugiere una mayor estabilidad redox. Estos resultados demuestran que la estabilización entrópica y el dopaje aliovalente actúan de forma sinérgica para crear cerámicas homogéneas y conductoras de protones, diseñadas específicamente para aplicaciones en pilas de combustible de temperatura intermedia.

LA INVESTIGACIÓN EN LA FACULTAD



Superstructure Optimization of Waste Plastic Pyrolysis, Integrating Thermal, Catalytic, and Plasma Technologies with Machine Learning

Joseph Amponsah, Pallavi Dubey, **David Lorenzo**, Jiawei Wang, Mark Mba Wright*

La generación mundial de residuos plásticos supera los 430 millones de toneladas al año, pero en Estados Unidos se recicla menos del 9 %. La pirólisis ofrece una vía de reciclaje químico a gran escala, pero las evaluaciones técnico-económicas y de ciclo de vida existentes limitan los rendimientos de los productos a polímeros puros únicos, lo que da lugar a resultados económicos y medioambientales que se desmoronan cuando cambia la composición de la materia prima. Presentamos un marco de optimización de superestructuras que aborda este problema mediante la integración de un predictor de rendimiento de tipo «bosque aleatorio» sensible a la composición –entrenado con 566 experimentos de pirólisis– dentro de una simulación de proceso a escala real. Las distribuciones de productos se actualizan automáticamente a medida que cambia la asignación de la materia prima entre cuatro procesos químicos del reactor: térmico convencional, catalítico (HZSM-5), oxodegradación térmica y plasma de CO₂ en desequilibrio. La superestructura óptima alcanza precios de venta mínimos de entre -0,56 y -0,76 por kg de materia prima y potenciales de calentamiento global de entre -0,276 y -0,322 kg de CO₂-eq por kg de materia prima en cuatro escenarios de precios de las materias primas, lo que confirma un funcionamiento rentable y con huella de carbono negativa sin tasas de vertido. Los costes de reducción de carbono, de entre 0,46 y 1,25 dólares/kg de CO₂-eq, son competitivos con respecto a la captura directa de aire. El análisis de sensibilidad muestra que la proporción entre el proceso catalítico y el de plasma es el principal factor determinante tanto del rendimiento económico como del climático, mientras que la asignación al hidrocrackeo en la etapa de mejora de la cera es neutra en emisiones en todo el rango de variables. Los flujos de residuos plásticos mixtos, evaluados como materias primas de composición variable en lugar de resinas puras, resultan rentables y con huella de carbono negativa en condiciones de mercado realistas. Estos resultados proporcionan una base cuantitativa para la selección de reactores, la inversión en economía circular y el diseño de políticas orientadas al reciclaje químico a gran escala.



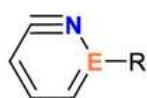
ChemistryEurope, 2026

<https://doi.org/10.1002/ceur.70324>

Understanding the Electronic Structure and Diels–Alder Reactivity of Nitrilium-Type N-Hetarynes

Daniel González-Pinardo, Israel Fernández

Se han investigado, mediante métodos computacionales, la estructura electrónica y la reactividad de las N-heterinas de tipo nitrilio descritas recientemente. Con este fin, se han comparado el carácter diradical, la aromaticidad y la reactividad de Diels-Alder de estas especies con los de sus análogos de o-bencina, ya bien establecidos. Mediante el modelo de tensión de activación de la reactividad, en combinación con el enfoque del análisis de descomposición energética, se ha descubierto que una reducción significativa de la repulsión de Pauli entre los reactivos es la causa de la mayor reactividad del arino heterocíclico. Además, este estudio examina cómo los sustituyentes unidos directamente al átomo de boro en los 1,6-BN-arinos derivados de la 1,2-azaborina, así como la naturaleza del elemento del grupo 13 adyacente al fragmento de nitrilio, influyen en la reactividad de estas nuevas especies.



E = group 13

- Aromaticity
- Diradical character
- Reactivity

J. Org. Chem. 2026

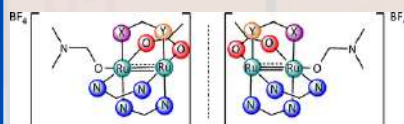
<https://doi.org/10.1021/acs.joc.6c00572>

LA INVESTIGACIÓN EN LA FACULTAD



Cationic chiral-at-metal paddlewheel diruthenium complexes

Isabel Coloma, Nazanin Kordestani, **Santiago Herrero**, Elizabeth A. Hillard, **Miguel Cortijo**



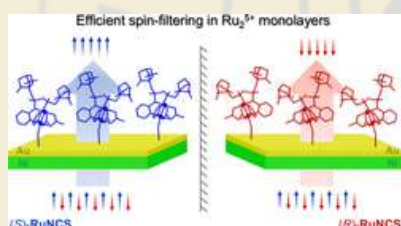
Polyhedron, 2026

<https://doi.org/10.1016/j.poly.2026.118268>

Se ha sintetizado y caracterizado una familia de complejos catiónicos heterolepticos de dirutenio en forma de rueda de paletas, que presentan dos ligandos formamidínicos, un ligando acetato y un ligando basado en piridinato en las posiciones ecuatoriales. La incorporación de ligandos de piridinato asimétricos derivados de la 2-hidroxi-6-metilpiridina (hmp-) o de la 2-amino-6-metilpiridina (amp-) genera una disposición intrínsecamente quiral de los átomos donantes alrededor del eje del enlace Ru-Ru. La coordinación de una molécula de DMF en un sitio axial completa la esfera de coordinación, dando lugar a: [cis-Ru₂(DMF)(μ-DPhF)₂(μ-hmp)(μ-OAc)](BF₄) (RuhmpBF₄), [cis-Ru₂(DMF)(μ-DPhF)₂(μ-amp)(μ-OAc)](BF₄) (RuampBF₄), [cis-Ru₂(DMF)(μ-DAniF)₂(μ-hmp)(μ-OAc)](BF₄) (Ru'hmpBF₄) y [cis-Ru₂(DMF)(μ-DAniF)₂(μ-amp)(μ-OAc)](BF₄) (Ru'ampBF₄) (DPhF=N,N'-difenilformamidinato, DAniF=N,N'-bis(p-metoxifenil)formamidinato). En el caso de RuhmpBF₄, RuampBF₄ y Ru'ampBF₄, se obtiene una mezcla racémica, tal y como se determina mediante difracción de rayos X en monocristal. La estructura quiral en forma de rueda de remos es bastante robusta, aunque la posición axial, ocupada por DMF, es lábil, como demuestra el predominio de la especie [M-BF₄-DMF]⁺ en los espectros de masas MALDI. Las mediciones de susceptibilidad magnética a temperatura variable indican un S=3/2 con una contribución orbital no desdeñable y una separación axial en campo cero relativamente grande.

Efficient Chirality-Induced Spin Selectivity in Self-Assembled Monolayers of Ru Paddlewheel Complexes

Isabel Coloma, Niccolò Giacconi, Francesco Parmeggiani, Thierry Buffeteau, Gilles Pécastaings, **Santiago Herrero**, Elizabeth A. Hillard, Patrick Rosa, Lorenzo Poggini, Matteo Mannini, **Miguel Cortijo**, Mathieu Gonidec



J. Am. Chem. Soc. 2026

<https://doi.org/10.1021/jacs.6c02811>

El uso de compuestos de coordinación ofrece una estrategia prometedora para desentrañar los factores que rigen la selectividad de espín inducida por la quiralidad (CISS), en particular la contribución del acoplamiento espín-órbita (SOC) a su magnitud. En este trabajo, describimos la formación de monocapas autoensambladas sobre sustratos de oro de un complejo paramagnético quiral de Ru²⁺ de estructura en² rueda de remo, [Ru₂(NCS){μ-(S)- o (R)-pycsa}₂(μ-OAc)₂] (pycsa = N-(piridin-2-il)-10-canforsulfonamidato), denominado (S)- o (R)-RuNCS. La incorporación de grupos de alcanfor confiere quiralidad puntual a la molécula y provoca una ligera torsión alrededor de la unidad Ru₂, introduciendo también una quiralidad helicoidal, tal y como evidencian la difracción de rayos X en monocristal y la absorción electrónica dicroica. El complejo presenta un ligando axial que lleva un átomo de azufre terminal que actúa como un sitio de anclaje robusto a la superficie metálica. Las SAM resultantes son homogéneas, estables y presentan características eléctricas muy reproducibles. Las mediciones de microscopía de fuerza atómica magnético-conductiva en uniones Ni/Au-RuNCS enantiopuras revelan notables polarizaciones de espín que alcanzan valores del 60 al 80 %, lo cual es especialmente destacable teniendo en cuenta la naturaleza monocapa de la película y la modesta helicidad del motivo en forma de rueda de paletas.

HISTORIA DE LA QUÍMICA



NO TODO VALE: EL DOPAJE, EL LADO OSCURO DEL DEPORTE

José M. Gómez Martín

Dpto. Ingeniería Química y de Materiales

Probablemente la necesidad de mejorar las capacidades físicas, para ser el primero en algo, mediante métodos ajenos a nuestra propia capacidad, es tan antiguo como el ser humano. Se podría decir que somos competitivos por naturaleza, ser más fuerte, ser más rápido o llegar más lejos que los demás parece una necesidad para algunas personas, que están dispuestas a hacer lo que sea por conseguirlo. Incluso tomar sustancias que les ayude a ello, a pesar de los efectos secundarios que pueden llegar a tener, los cuales incluyen la muerte. Esta ingesta de sustancias se conoce como **dopaje**, aunque el término más empleado es **doping**, incluso en castellano. En este sentido la RAE define dopar como *“administrar fármacos o sustancias estimulantes para potenciar artificialmente el rendimiento del organismo, a veces con peligro para la salud”*. Pero es necesario que esa sustancia se pueda medir cualitativa y cuantitativamente para poder demostrar que se ha tomado y poder sancionar a quien la tome. Por otro lado, la **Agencia Mundial Antidopaje (AMA)** definió el dopaje como cualquier sustancia o método que (a) se utilice para aumentar el rendimiento de un deportista, (b) sea perjudicial para la salud del deportista, o (c) vaya en contra de los valores del deporte. Si se dan dos de estas tres condiciones, la sustancia o el método se incluye en la lista de sustancias prohibidas.

El origen de la palabra dopaje

La palabra dopaje se cree que viene del término *“dop”*, empleado por tribus surafricanas para denominar a una bebida alcohólica de piel de uva que tomaban, en ceremonias religiosas, como estimulante. Esta bebida también era tomada por los guerreros zulú antes de entrar en combate. No era lo único que ingerían, también tomaban una bebida del fruto de la cola acuminata (la nuez de cola) que es rico en alcaloides naturales (cafeína y teobromina) que actúan como estimulantes. Los colonizadores holandeses (conocidos como *bóers*) tomaron la palabra, pero como *doopen*, y el término fue empleado por los trabajadores de la construcción del Canal del Norte de Amsterdam (1865-1876) para referirse al aumento de la capacidad de trabajo. Posteriormente pasó al inglés, apareciendo en un diccionario de 1889 como *doping*, describiéndose como *un remedio que contenía opio y narcóticos y que era empleado para mejorar la capacidad física de los caballos*. La definición, según el diccionario de deportes de 1959, se amplió a *sustancia administrada a un deportista, a un galgo o a un caballo, con el objetivo de modificar su rendimiento*. Sin embargo, también parece que la palabra podría estar relacionada con el vocablo *dopa* referido a la **dopamina**. Incluso se dice que podría derivar del término neerlandés *“doop”* (que hace referencia a una salsa espesa) y que en Estados Unidos se empleaba para denominar a lo ladrones que empleaban tabaco con semillas de estramonio.

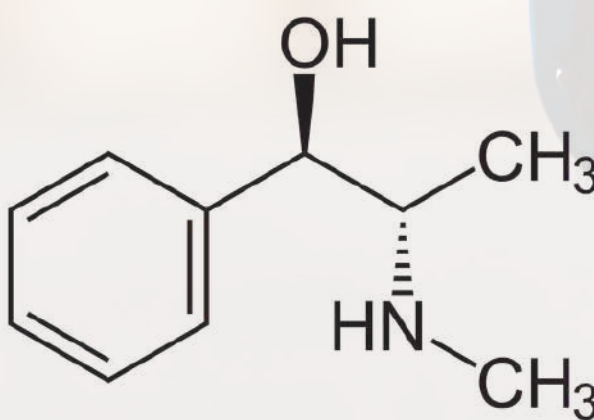
HISTORIA DE LA QUÍMICA



El efecto que producía en sus víctimas incluía la sedación, alucinaciones, delirios y confusión, debido a la presencia de varios alcaloides tropánicos, lo que les facilitaba el robo. Estos compuestos se pueden encontrar, además de en el estramonio, en la belladona y en la coca.

El dopaje en la Antigüedad

El primer caso de dopaje puede estar representado por la ingesta de la manzana prohibida por parte de Adán y Eva, ya que pretendían llegar a ser como Dios, aumentando su conocimiento gracias a una sustancia externa (la manzana). Fuera del Jardín del Edén se tiene constancia de la ingesta de diferentes sustancias a lo largo de la historia y en diferentes localizaciones. En la China antigua (3000 a.C.) el emperador masticaba la planta *ma huang*, llamada también *Ephedra sínica*, que tiene efectos estimulantes, ya que se suponía que el emperador no podía rendirse nunca. Para él mantenerse despierto y alerta era casi una obligación. Esta planta contiene **efedrina** y por lo tanto ayudaría a reducir la fatiga y a estimular la concentración. Sin embargo, puede producir insomnio, ansiedad, dolor de cabeza, temblores, hipertensión, náuseas, etc. Debido a sus riesgos cardiacos debe ser consumida bajo supervisión médica. Actualmente es una sustancia considerada como dopaje y tiene prohibida su venta como suplemento dietético en muchos países.



(Izda.) Ephedra sínica. Imagen: [alexlomas on Flickr](#) - [Flickr](#). CC-BY-2.0.
(Drcha.) Efedrina (Dominio Público).

En la antigua Grecia, con el auge de los Juegos Olímpicos, donde los ganadores de las competiciones podían ser considerados semidioses, algunos deportistas recurrieron al consumo de sustancias que podrían mejorar su rendimiento. Aparte de seguir dietas especiales, según la disciplina deportiva (corredores, saltadores, luchadores, etc.), también hay referencias al consumo de sustancias estimulantes obtenidas a partir de extractos de plantas o infusiones para aumentar la fuerza.

HISTORIA DE LA QUÍMICA



Sin embargo, no parece que existan muchos datos de estas prácticas, ya que este conocimiento se mantenía en secreto para que no lo usaran los contrincantes. Los nombres de estas sustancias eran verdaderamente curiosos, “sangre de Hefesto” (**ajenjo**), “hueso de Ibis” (**espino**) o “semen de Hércules”, que, a pesar del nombre, se trataba simplemente de **hoja de mostaza** exprimida, pero que mencionan que era bastante eficaz para aumentar la fuerza y la potencia de los deportistas. En el siglo III a.C., el filósofo **Filóstrato** indicó que ciertos corredores griegos ingerían una mezcla de semillas de ajonjolí y hongos con el objetivo de mejorar su rendimiento en la competición. Aparte de las pócimas, también estuvo extendido el uso de encantamientos y hechizos que incluían fórmulas mágicas (conjuros en griego y egipcio) para aumentar la fuerza, la velocidad, la suerte, y como no, la virilidad. Pero emplear estas ayudas no estaba bien visto y, por ello, existían controles antidopaje. Estos consistían en prestar juramento de que no se habían empleado medios ilícitos para obtener la victoria. Para darle más impacto, este juramento se hacía ante la estatua de Zeus, amenazante con sus rayos, donde se había colocado un trozo sangrante de cerdo. A veces, para evitar recurrir a estos métodos los competidores vivían juntos el mes anterior al evento. Si a pesar de esto, eran descubiertos haciendo trampas, no se les dejaba participar más y se grababa su nombre y su infracción, y hasta los nombres de su familia, en una piedra que era colocada en el camino al estadio para que todos supieran lo que habían hecho.



De izquierda a derecha: carreras de hombres con escudo (Por Nikomachos Series, CC BY 2.5); carrera de carros (Marie-Lan Nguyen CC BY 2.5) y pugilato (Marie-Lan Nguyen/Wikimedia Commons, Dominio público).

En época romana uno de los espectáculos del Circo Romano eran las carreras de cuadrigas, que no estuvieron exentas de sustancias estimulantes para aumentar la velocidad y resistencia de los caballos. Una de las más habituales era darles **hidromiel**, para aprovechar los efectos estimulantes del alcohol etílico. Tampoco fue rara la ingesta de sustancias y brebajes por parte de los gladiadores, para aumentar su fuerza y agresividad. O incluso, para todo lo contrario, hacer trampas para debilitarles y poder vencerles más fácilmente, tal como parece que hacía el **emperador Cómodo**, el de Gladiator, al que le gustaba sentirse gladiador.

HISTORIA DE LA QUÍMICA



Estas prácticas estuvieron perseguidas (más o menos según la época) llegando a castigarse con la crucifixión. Finalmente, **Teodosio el Grande** prohibió los Juegos Olímpicos en el año 395 debido a que los consideraba prototipo de trampas, de atentados contra la dignidad y de dopaje.

Los guerreros vikingos *berserkers* se caracterizaban por su agresividad, no sentir dolor, comportarse como bestias y luchar semidesnudos. Parecían que estaban poseídos cuando entraban en combate. Detrás de este comportamiento pudiera estar el consumo de **bufotenina**, un alcaloide alucinógeno natural, y que obtendrían de sapos del género bufo y/o el consumo del hongo amanita muscaria. Estudios más recientes indican que lo que consumían era una potente hierba alucinógena (*hyoscyamus niger*) conocida como **beleño negro** que contiene dos alucinógenos (*hyoscyamina* y *escopolamina*). En la América precolombina, y posteriormente, se masticaban hojas de coca o se consumían como infusión, para conseguir cubrir largas distancias, ya que actúa como un estimulante ligero y un vasodilatador, contribuyendo a atenuar la sensación de cansancio y soportar mejor la falta de oxígeno por la altitud.

El dopaje en el campo de batalla: el Pervitín

Desde el siglo XVI se emplearon diversas sustancias como amanita muscaria, cocaína, morfina, heroína, anfetamina, efedrina, testosterona, etc. en diversas guerras como la Guerra Civil de Estados Unidos (1861-1865), las guerras alemanas del siglo XIX o la II Guerra Mundial (1939-1945). Como ejemplo, una de las primeras, y más sorprendentes, operaciones de esta última guerra fue la invasión alemana de Polonia. Esta se consiguió en apenas un mes, fue la operación *Fall Weiss* (caso blanco), y se trató de una operación relámpago, donde la clave estaba en el avance rápido, masivo y sin descanso de los carros de combate y de los vehículos, lo que permitiría el posterior avance de la infantería. Este avance se pudo llevar a cabo gracias al **pervitín**, un derivado de la metanfetamina desarrollado en 1937 en los laboratorios Temmler, a las afueras de Berlín, que hizo que los soldados no durmieran durante días, lo que les permitió avanzar sin descanso, cumpliendo con la misión. Los efectos, según el médico alemán **Otto Ranke** (quien terminó siendo adicto al pervitín), incluían un aumento de la concentración, de la confianza y de la voluntad para asumir riesgos, lo que resultaba muy útil para los mandos alemanes. Según algunas fuentes se distribuyeron **35 millones de pastillas** y muchos las consumieron sin saber que tomaban. En origen el pervitín, cuando se comercializó en 1938, era para uso civil, lo consumía todo el mundo, trabajadores, amas de casa, estudiantes, médicos y hombres de negocios. ¡Hasta se llegó a comercializar bombones con pervitín! Sin embargo, este consumo dejó un reguero importante de adictos, incluyendo mandos del ejército alemán, los cuales poco a poco necesitaban dosis mayores para notar los efectos.

HISTORIA DE LA QUÍMICA



Entre los efectos secundarios se cita la visión doble (la cromática), alteraciones nerviosas, alucinaciones, delirios, brotes psicóticos, etc. Efectos muy peligrosos para los adictos y para sus compañeros en el frente. En 1941 se declaró sustancia de uso restringido, aunque siguieron llegando al frente dosis para los soldados.



Temmler Pervitin, envase de comprimidos (Jan Wellen, CC BY-SA 3.0, Ordercrazy, CC0).

El dopaje en el deporte moderno

Y centrándonos en el deporte más *actual*, el dopaje se empezó a emplear en el siglo XIX, con lo que se podría considerar el nacimiento del deporte moderno, y la necesidad de alcanzar la victoria, a veces a cualquier precio. En este siglo también se produjo el desarrollo de la química orgánica y con ello la síntesis de muchos compuestos, algunos utilizados para mejorar el rendimiento físico. Entre 1860 y 1869 se describe el uso de lo que se denominaban **speed balls** (bolas de velocidad) por parte de algunos ciclistas. Estas bolas eran una mezcla de cocaína y heroína y servían para que la fatiga llegase más tarde. En 1865 se acusaron a nadadores de una carrera en el canal de Amsterdam de consumir el *dop* (la bebida alcohólica surafricana).

Las carreras ciclistas de los 6 días (*six-days*) fueron, desde 1890 hasta 1939, muy populares, y los ciclistas fueron los héroes del deporte de esa época. Se celebraban a lo largo de todo el mundo: Berlín, Melbourne, Sídney, Londres, Turín, Boston, Cleveland, etc. Estas carreras eran de resistencia, y los ciclistas se tiraban pedaleando en una pista durante 6 días seguidos, casi las 24 horas, llegando a recorrer distancias de más de 3000 km, similares a las que se recorre en un Tour de Francia en tres semanas. No paraban ni para comer. Los ciclistas recurrían a ciertos trucos para retrasar la fatiga como era la ingesta de sustancias a base cafeína, azúcares embebidos en éter, alcohol, trinitrina (nitroglicerina, un vaso dilatador), mezclas de efedrina, cocaína y esticnina, etc.

HISTORIA DE LA QUÍMICA



El consumo de sustancias seguramente se vio potenciado por las apuestas que se movían. Se dice que la mafia italiana, con Al Capone a la cabeza, asistía a estas competiciones, donde se podía mover mucho dinero.



Izqda.: Área de descanso para los ciclistas, París 1925 / Parisen Images. Drcha.: Seis días de Berlín (por Bundesarchiv, Bild 102-13120 / CC-BY-SA 3.0 wikipedia commons).

En 1896 se documentó el primer caso de muerte de una ciclista relacionada con el consumo de sustancias. El galés **Arthur Linton**, durante la carrera ciclista Burdeos-París, de 600 kilómetros, habría consumido opio y otros estupefacientes, como cafeína y estricnina, suministrados por su propio entrenador, Choppy Warburton. La verdad es que Linton no murió durante la carrera, sino en su casa, en Aberdare, por una fiebre tifoidea, que, supuestamente, le habría provocado el coctel de estupefacientes. Parece ser que no fue el único ciclista fallecido bajo la tutela de Warburton, famoso por sus botellas negras, cuyo contenido tenían efectos mágicos en sus cansados ciclistas. Por lo visto, no siempre les suministraba sustancias para ganar, a veces era para perder, en función de en qué sentido hubiera apostado. En esa época, también se menciona el uso, por parte de boxeadores, de píldoras de estricnina, mezcladas con coñac y cocaína para mejorar el rendimiento.

En el comienzo de los Juegos Olímpicos modernos, también hubo casos extraños, pero la que parece ser la prueba más estrambótica es la maratón de 1904 en las olimpiadas de San Luis (Misuri, Estados Unidos). El ganador, **Frederick G. Lorz**, llegó como si hubiese corrido 4 kilómetros en vez de los 39,99 de los que constaba la prueba (se equivocaron en la medida y no hicieron los 42,195 km). Pero pronto se descubrió el engaño, Lorz se había retirado antes del kilómetro 15 con calambres, y se subió a un coche, con su representante, que adelantó a todos, saludando a los espectadores.

HISTORIA DE LA QUÍMICA



Pero antes de llegar al estadio se bajó, según algunas crónicas porque el coche se estropeó, y recorrió a la carrera los últimos 7,8 km, entrando al estadio. Parece que su intención era hacer una broma, pero se le fue un poco de las manos y casi recibe la medalla de oro (en estas olimpiadas se instauró la costumbre de dar las tres medallas). Evidentemente fue descalificado, y le prohibieron de por vida volver a participar en unas olimpiadas. Un tiempo después le redujeron la sanción a un año al comprobar que no tuvo intención de hacer trampas. Se le podría considerar el primer caso de doping tecnológico de la historia.



Después de recorrer 14.5 km, Fred Lorz subió al coche de su entrenados y recorrió 17.7 km en coche. Los últimos kilómetros de la carrera los recorrió a pie.
@Histroyville.

Aunque no quedó ahí la cosa, el segundo y a la postre ganador, **Tom Hicks** (3h 28min 53s), payaso profesional, se derrumbó nada más acabar la carrera por agotamiento extremo y alucinaciones. Los doctores demostraron que había tomado estricnina y coñac. Se cuenta que, a sus amigos, o al entrenador, no se les ocurrió otra cosa que darle brandy y estricnina, y cuando estaba sediento (¡el maratón se celebró el 30 agosto!) agua del radiador de su vehículo. Por suerte se recuperó y siguió compitiendo en carreras en los años siguientes.



Tom Hicks ayudado por sus compañeros en la maratón de San Luis 1904 (Dominio público).

HISTORIA DE LA QUÍMICA



En 1960 se produjo un punto de inflexión en la historia del dopaje olímpico. En los Juegos Olímpicos de Roma el ciclista [Knud Enemark Jensen](#), del equipo danés, falleció de un colapso durante la disputa de la prueba de contrarreloj por equipos, disputada un 26 de agosto a 40°C. En un principio se dijo que se debió a un golpe de calor, pero finalmente se conoció que había tomado anfetaminas, entre otras sustancias. Al año siguiente el COI empezó tomar medidas contra el dopaje creando un comité médico, y para los Juegos Olímpicos de 1968 ya se incluyeron, por primera vez, los controles antidopaje. A esto también colaboró la muerte de otro ciclista un año antes. [Tom Simpson](#), ciclista británico, falleció durante la disputa de la etapa del Tour de Francia que pasaba por el [Mont Ventoux](#). A pocos kilómetros de la cima empezó a zigzaguear sobre el asfalto, con la mirada perdida y un pedaleo agónico, se cayó, le subieron de nuevo a la bicicleta, pero volvió a desplomarse inconsciente, y ya no se reincorporó, le intentaron reanimar, y finalmente fue evacuado en helicóptero. Falleció antes de llegar al hospital. Todo ello retrasmitado por televisión, de hecho se pueden ver las imágenes en YouTube. La muerte parece que se debió a una mezcla de anfetaminas (había botes vacíos en su maillot), alcohol y el intenso calor del julio francés, que aceleraron su deshidratación. Al año siguiente se incluyeron los análisis de orina en el Tour de Francia. En aquella época era bastante habitual el uso de anfetaminas. Actualmente, en el punto en el que cayó, existe un monolito en el que los cicloturistas depositan bidones, gorras, etc. El monumento fue financiado por ciclistas ingleses en 1968 y sirve de recuerdo y homenaje...y de advertencia.

Controles y crisis en el ciclismo

El ciclismo es, probablemente, el deporte más golpeado por el dopaje, seguramente por ser de los más duros, sino el que más. En 1998 estalló el [caso Festina](#), cuando en un control de aduanas, entre Francia y Bélgica, interceptaron 200 ampollas de [EPO](#) (eritropoyetina, una hormona que aumenta la cantidad de oxígeno que llega a los músculos, mejorando la resistencia y retrasando la fatiga) y 100 de hormona del crecimiento y testosterona (estimulan la recuperación muscular). El destino, Dublín, de donde salía la edición de ese año del Tour de Francia. El responsable del alijo era Willy Voet, masajista y conductor del autobús del equipo Festina. Esto permitió desarticular una red internacional de dopaje, donde además se les acusaba de *"importación de medicinas sin autorización"*. El año siguiente se fundó la [Agencia Mundial Antidopaje \(AMA\)](#) con el objetivo de promover, coordinar y monitorizar la lucha contra el dopaje en el deporte.

El Tour de 1998 lo ganó [Marco Pantani](#), seguido de Jan Ullrich y Bobby Julich, todos relacionados posteriormente con el dopaje. Marco Pantani fue expulsado del Giro de Italia del año siguiente, en la penúltima etapa, debido a que dio un nivel de hematocrito del 52%, y por lo tanto fue declarado no apto para competir, por su seguridad, no por positivo.

HISTORIA DE LA QUÍMICA



El hematocrito mide los niveles de glóbulos rojos en la sangre, los encargados de transportar el oxígeno a los músculos con la consiguiente mejora en el rendimiento y la resistencia. Un valor elevado, por encima del 50%, se consideraba indicio de consumo de **EPO (eritropoyetina)**, sustancia que entonces no se podía detectar. Pantani nunca se recuperó, y falleció en un hotel de Rímini el 14 de febrero de 2004. Todo este asunto fue bastante turbio porque se investigó si la mafia pudiera haber estado detrás de todo para ganar dinero con las apuestas, e incluso que tuvo algo que ver con su muerte.



Lance Armstrong y Marco Pantani en el Tour de France 2000.

También muy sonado fue el caso de **Lance Armstrong**, ganador del Tour de Francia en siete ocasiones, de 1999 a 2005, que participó en una sofisticada y organizada red de dopaje (EPO, testosterona, hormona del crecimiento y transfusiones de sangre). Fue el **caso US Postal**, el nombre del equipo en el que corría. Se las apañaban para pasar los controles antidopaje sin dar positivo, a pesar de tener la obligación, fuera de la competición, de estar localizados en cualquier momento para someterse a ellos. Alguno llegó a esconderse en su casa y no abrir la puerta a los vampiros, que era como llamaban a los inspectores que realizaban los controles sorpresa de sangre y orina. Muchos compañeros suyos confesaron, y él acabó haciéndolo en horario de máxima audiencia, en 2013, durante una entrevista con Oprah Winfrey. Fue desposeído de sus triunfos, entre ellos los siete Tour de Francia, y fue suspendido de por vida de toda competición oficial. Curiosamente, fue un excompañero suyo, **Floy Landis**, quien inició toda la investigación al reconocer que se había dopado, y contar el programa de dopaje organizado dentro de su exequipo, el US Postal.

HISTORIA DE LA QUÍMICA



Las evidencias le llevaron a ello. Floy Landis ganó el Tour de Francia de 2006, pero dio positivo en un control antidopaje por testosterona, en la etapa que ganó, y que le permitió alcanzar el triunfo en el Tour. Él se defendió diciendo que la noche anterior se había tomado varios whiskis y cervezas y que eso había trastocado su metabolismo, de ahí los valores elevados de testosterona. Fue desposeído de esa victoria, y el ganador fue el español **Óscar Pereiro**.

En España es famosa la **Operación Puerto**, que desarticuló la red de dopaje que lideraba el doctor Eufemiano Fuentes (EPO, testosterona, hormona del crecimiento, transfusiones de sangres, etc.). Parece que la red, según declaraciones del doctor, aparte de ciclistas, incluía futbolistas, tenistas y atletas. La investigación no llegó hasta el fondo porque el dopaje no era un delito en España, por lo que solo se investigó como delito contra la salud pública, el cual solo podía incriminar a los responsables, pero no a los deportistas. Se perdió una gran oportunidad de atacar duramente al dopaje en España y demostrar el compromiso con la limpieza en el deporte. En esta operación se confiscaron 211 bolsas de sangre, que se pudieron analizar (ADN), identificándose a más de treinta deportistas, pero nunca se pudieron hacer públicos los nombres porque el delito había prescrito, y se temían las fuertes demandas de los involucrados. En los últimos años también se están haciendo controles para detectar el dopaje tecnológico, en concreto la **UCI (Unión Ciclista Internacional)** escanea las bicicletas en busca de motores eléctricos y baterías ocultos en los cuadros de las bicicletas.

El dopaje en otras disciplinas deportivas

El atletismo es otro de los deportes más golpeado por el dopaje. En 1988, el 24 de septiembre, en los Juegos Olímpicos de Seúl, **Ben Johnson**, atleta canadiense, pulverizaba el récord del mundo de los 100 metros lisos (9,79 segundos), y a su contrincante de Estados Unidos, **Carl Lewis**. Unos días después saltó la noticia, había dado positivo por **estanozolol**, un esteroide anabólico empleado para aumentar la masa muscular, entre otros efectos. Consecuentemente, fue descalificado y tuvo una sanción de dos años, que se convirtió a perpetuidad cuando volvió a reincidir en 1993, esta vez por testosterona. Pero el mayor escándalo del deporte americano fue el **caso BALCO**, afectando principalmente a jugadores de beisbol y atletas, algunos de los cuales fueron a prisión. **BALCO (Bay Area Laboratory Co-Operative)** era un laboratorio donde Victor Conde y su equipo desarrolló un esteroide anabolizante sintético, el **THG (tetrahidrogestrinona)**, indetectable para los controles antidopaje, incluidos los del COI. Esta sustancia se empleaba para aumentar la masa y la fuerza muscular y reducir el tiempo de recuperación después del esfuerzo físico. ¿Cómo se llegó a conocer su existencia si era sintética? Un sobre con una jeringuilla usada, conteniendo trazas del compuesto químico, llegó de forma anónima a la **USADA (Agencia Antidopaje de Estados Unidos)** en 2003.

HISTORIA DE LA QUÍMICA



En esta red había importantes atletas como **C.J. Hunter** (lanzador de peso, campeón del mundo, falleció a los 52 años), **Tim Montgomery** (velocista que batió el récord del mundo con 9,78 segundos), **Dwain Chambers** (velocista, campeón de Europa), **Antonio Pettigrew** (campeón del mundo y medallista olímpico en Sídney 2000, falleció con 42 años) y especialmente, **Marion Jones**, que había ganado 5 medallas olímpicas en Sídney 2000 (tres de oro y dos de bronce). Marion Jones pasó 6 meses en la cárcel por mentir a las autoridades federales de Estados Unidos. El arrepentido que mandó la jeringuilla fue **Trevor Graham**, entrenador, entre otros, de Marion Jones y Tim Montgomery. Este acto le dio cierta inmunidad por cooperar con la investigación.



De izquierda a derecha: Marion Jones (Dominio público), Dwain Chambers (Erik van Leeuwen: Wikipedia) y Antonio Pettigrew (Wikipedia).

También se han conocido programas de dopaje a nivel nacional. La antigua RDA (República Democrática Alemana o Alemania del Este) desarrolló durante décadas (desde 1970) un programa, denominado **14.25**, que consistía en la distribución y administración de sustancias dopantes, como testosterona y esteroides anabólicos, con el objetivo de que las victorias internacionales engrandecieran la imagen del país. Esto se llevó a cabo con o sin el conocimiento de los atletas. Más recientemente, Rusia también tuvo su programa, que quedó al descubierto en el denominado **Informe McLaren**, debido al cual los atletas rusos no pudieron participar en los Juegos Olímpicos de Río 2016 y otras competiciones. Según la AMA (Agencia Mundial Antidopaje) el programa se llevó a cabo con la complicidad de figuras de la alta jerarquía en el Ministerio de Deporte de Rusia.

HISTORIA DE LA QUÍMICA



En el fútbol los casos conocidos son menos, muchos están asociados al consumo de lo que se podría llamar drogas de la calle, cocaína, cannabis, etc. Probablemente, el caso más mediático fue el de **Diego Armando Maradona** en el Mundial de Estados Unidos en 1994. Después de la victoria de Argentina frente a Nigeria tuvo que pasar el control antidopaje resultando positivo en efedrina, norefedrina, pseudoefedrina, norseudoefedrina y metaefedrina, por lo que fue apartado del mundial y sancionado 15 meses sin jugar. Parece ser que, por error, había ingerido un jarabe contra la gripe que le había suministrado su preparador físico personal. Pero su historial no le ayudó, ya había sido sancionado, en 1991, por dar positivo por cocaína cuando jugaba en Italia. Sin embargo, hay informaciones que citan que años después la AMA (Agencia Mundial Antidopaje) dictaminó que la cantidad de las sustancias ingeridas por Maradona no superaban los valores mínimos legales. También hay información sobre positivos por **nandrolona**, que se emplearía para acelerar la recuperación de lesiones, así como para mejorar la fuerza. Por esta sustancia **Pep Guardiola** también fue sancionado cuatro meses, cuando jugaba en el Brescia italiano, pero finalmente fue absuelto por el Tribunal de Arbitraje Deportivo (TAS) que indicó que la producción había sido endógena.

Esta historia, seguramente no ha terminado y seguirán saliendo casos. Siempre se dice que las sustancias dopantes van por delante, ya que los laboratorios desconocen sus estructuras para poder detectarlas.

REFERENCIAS

- T. Leal. El misterioso caso de Arthur Linton, el primer muerto por dopaje de la historia del deporte. 26/12/2013. Libertad Digital.
- R. Rodríguez González, R. J. Rodríguez Payare y G. María González Cid. Antecedentes históricos del doping desde la antigüedad hasta el restablecimiento de los Juegos Olímpicos Modernos en 1896. EFDeportes.com, Revista Digital. Buenos Aires, Año 16, N° 164, enero de 2012
- I. Trujillo. ¿Qué es el semen de Hércules?: así se dopaban los atletas en la antigüedad. La Razón Deportes, 25.10.2022.
- M. P. Villatoro. Pervitín: la droga secreta de Hitler con la que los tanques nazis asolaron Europa. ABC 12-09-2017.
- El origen de la palabra doping.
- Dopaje y deporte. Una larga historia.
- Retazos. El "dopaje" de los griegos.
- Historia del dopaje, sustancias y procedimientos de control. Vol. 1. Consejo Superior de Deportes, 2008.

BOLETÍN DE DIVULGACIÓN. Nº 48

Facultad de Ciencias Químicas. UCM

Vicedecanato de Ordenación Académica, Biblioteca y Divulgación



Fotografía: Elena Espada Bernabé



FACULTAD DE
CIENCIAS QUÍMICAS
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE MADRID