

- MARÍN, A. (1924) «El sondeo de Puigreig, de la cuenca potásica de Barcelona». *Revista Minera, Metalúrgica y de la Ingeniería*, 75, 413-414 y 633-634.
- PÉREZ DE PERCEVAL, M.A. (1989) *La Minería almeriense contemporánea (1800-1939)*. Ed. Zejel, Almería. Cfr. Cap. VIII. El hierro: Sierra Alhamilla y Sierras de Levante, 194-212.
- RUIZ GARCÍA, A. (2001) «El Ferrocarril Minero de Lucainena a Agua Amarga». En: SÁNCHEZ DE LAS HERAS, C. (Coord.) *Patrimonio Industrial de Andalucía*. Sevilla, Consejería de Cultura, Junta de Andalucía, 24-26.

PREMIOS NOBEL DE FÍSICA Y QUÍMICA 2005

MANUEL CASTILLO MARTOS

Universidad de Sevilla

Este año la Real Academia de Ciencias de Suecia ha destacado que *desde que la humanidad comenzó a poblar la Tierra hemos estado fascinados por los fenómenos ópticos y gradualmente se ha ido revelando la naturaleza de la luz. Con la ayuda de la luz podemos orientarnos en nuestra vida diaria u observar las galaxias distantes del universo*, y ha querido otorgar el premio Nobel de Física a estudios sobre la óptica cuántica que permiten tomar medidas extremadamente precisas del tiempo y la distancia y que podrán ser aplicadas en el futuro a las telecomunicaciones, a los sistemas de transmisión de datos, a los viajes espaciales y al desarrollo tanto de relojes sumamente exactos como una técnica GPS mejorada. La óptica ha sido la herramienta para los físicos que investigan la luz.

Por lo que concierne al Nobel de Química se ha premiado los avances en lo que es una *química verde*: simplificar la síntesis de los compuestos de carbono en una forma más eficiente, barata y ecológica mediante reacciones de metátesis en la síntesis orgánica con catalizadores, cuyos productos son utilizados para elaborar plásticos y productos farmacéuticos. La Academia ha querido destacar que la metátesis se ha convertido en una de las reacciones química más importantes porque ha creado *fantásticas oportunidades para producir moléculas, entre ellas algunas para uso farmacológico con la ayuda de moléculas catalizadoras especiales*. Según la comparación de la propia Academia, la metátesis es *como un baile en el que los bailarines (moléculas) cambian de pareja*, es una transposición como dice el Diccionario de la Lengua: *Cambio de lugar de algún sonido en un vocablo*.

El Nobel de Física

Tres científicos de óptica cuántica han sido los galardonados: Theodor Hänsch (alemán), Roy Glauber y John Hall (norteamericanos). A Glauber (Universidad de Harvard de Estados Unidos) corresponde la mitad del premio (1,29 millones de dólares) por haber desarrollado una teoría microscópica de lo que se entiende por coherencia óptica, y a Hall (Catedrático en el National Institute of Standards and Technology de la Universidad de Colorado de Estados Unidos) y Hänsch (Director del Instituto Max-Planck de Óptica Cuántica de Garching y Catedrático de Física en la Universidad Ludwig-Maximilians de Munich), que recibirán a medias la segunda parte de la distinción, por haber desarrollado técnicas de espectroscopia, fundamentalmente en los rayos láser, que han permitido determinar el color de la luz de átomos y moléculas con extrema precisión y cuyas aplicaciones alcanzan el ámbito de las telecomunicaciones. La Academia sueca valoró la labor de estos tres científicos, en el campo teórico del primero y la aplicación práctica de los otros por la tarea común de aportar una nueva luz a la óptica moderna, y haber contribuido al impulso de la óptica atómica, un área relativamente novedosa en la física que ha adquirido un rápido desarrollo en las últimas dos décadas, especialmente en el ámbito de las aplicaciones indicadas.

Obtenemos la mayor parte de nuestro conocimiento del mundo que nos rodea a través de la luz, dijo la Academia que se refirió a la óptica como la herramienta de los físicos para trabajar con los fenómenos de la luz. La coherencia óptica permite obtener interferencias muy precisas entre haces de luz provenientes de diferentes focos, lo que significa un gran avance respecto de la utilización de focos de luz clásicos, como una bombilla, que emite luz con diferentes longitudes de onda y fases aleatorias. Ciertamente, la investigación del trío ganador permite responder a cómo la luz de una vela difiere de los rayos láser de un reproductor de discos compactos, o cómo la luz puede medir el tiempo de modo más preciso que un reloj atómico, al *hacer posible medir frecuencias con una precisión de 18 cifras significativas*, aplicable también a sistemas de posicionamiento global y brindarle a la navegación con el sistema GPS la precisión suficiente para efectuar largos viajes espaciales; lo cual también podría aplicarse a telescopios emplazados en el espacio y al campo de las telecomunicaciones.

Glauber, de 80 años, nacido en Nueva York, ex profesor de Física, integrante del equipo del Proyecto Manhattan que desarrolló la bomba atómica, debe el premio a sus investigaciones que le llevaron a la descripción teórica de la conducta de las partículas de luz y establecer, en 1963, las bases de la óptica cuántica. Es decir, interpretó los fenómenos ópticos en clave cuántica, y pudo explicar las diferencias fundamentales entre las fuentes calientes de luz, como las bombillas, con una combinación de frecuencias y fases y láser que dan una frecuencia y una fase específica.

Hall y Hänsch, por su parte, han trabajado en la determinación del color de la luz en átomos y moléculas con extremada precisión. Hänsch, de 63 años, nació en Heidelberg, utilizó pulsos de láser espaciados de modo equilibrado *como los dientes de un peine o las marcas de una regla* para determinar el valor de las frecuencias, con lo que *podríamos eventualmente disfrutar televisión holográfica 3D como una posible aplicación*, dijo en Munich. Y Hall, de 71 años, natural de Denver (Colorado), refinó esta técnica. Hoy en día se pueden producir rayos láser con colores extremadamente definidos, y con la técnica del *cardado de frecuencias* se pueden realizar lecturas precisas de la luz de todos los colores. Esta técnica posibilita, pues, el estudio de la estabilidad de las constantes de la naturaleza a través del tiempo.

Estos trabajos enlazan con los de Einstein: al igual que las ondas de radio, la luz es una forma de radiación electromagnética y esta energía se da en cuantos. Hace ahora 100 años cuando Albert Einstein propuso que la energía de radiación, como la luz, se da en *cuantos*, y demostró cómo la absorción de un cuanto de luz (fotón) provoca la liberación de un fotoelectrón (efecto fotoeléctrico). Es sabido, que la luz exhibe una doble naturaleza: puede ser considerada tanto como ondas —forma de radiación electromagnética como las ondas de radio— y como un flujo de partículas —teoría corpuscular—. Así, mientras que Glauber establecía las bases teóricas para la óptica cuántica, en la que la teoría cuántica abarca el campo de la óptica, Hall y Hänsch hicieron posible medir frecuencias con una altísima precisión, después de haber arrojado nueva luz sobre la diferencia entre materia y antimateria. Todo esto ha contribuido a que se vea la luz desde lo infinitesimal del átomo.

Aun cuando Max Planck, a comienzos del siglo XX, lanzó la hipótesis de la cuantificación de la energía en los procesos de emisión y absorción de la luz, y que Albert Einstein, en 1905, avanzara su interpretación corpuscular de la luz, la óptica permaneció mucho tiempo fuera de la física que rige el mundo de lo microscópico: la mecánica cuántica.

Hasta la invención del láser, en 1960, la mayoría de los fenómenos luminosos pudieron ser explicados según la concepción ondulatoria de la luz formulada en el siglo XIX por James Clerk Maxwell.

Este campo evolucionó fundamentalmente después de la Segunda Guerra mundial. Uno de los laureados, Roy Glauber, figura entre los pioneros de la aplicación de la mecánica cuántica a la óptica y a la comprensión de la doble naturaleza de la luz. La teoría de Glauber consiste en la utilización de un formalismo de electrodinámica cuántica para describir el proceso de detección de fotones, con todo lo que ello implica en cuanto a la indeterminación intrínseca de un

fenómeno puramente cuántico. Al sentar las bases de la óptica cuántica Glauber permitió entre otras cosas explicar las diferencias fundamentales que existen entre ciertas fuentes de luz (mezcla de frecuencias y de fases) y los láseres, instrumentos que emiten fotones de frecuencia y de fase específicas.

La aportación de Glauber tiene sobre todo carácter de investigación básica, mientras que las de John Hall y Theodor Hänsch, aún siendo igualmente fundamental, tienen mayores consecuencias prácticas, y pudieron hacer progresar considerablemente las medidas de frecuencias, con la espectroscopia láser de precisión y sus técnicas de *peines de frecuencias ópticas*. Las técnicas láser permiten de esta forma ahora a los físicos aumentar de manera considerable su capacidad para controlar casi todos los aspectos de la luz, y en consecuencia poder observar y controlar la materia. Los campos de aplicación son muy variados: desde la caracterización de las moléculas, pasando por las mediciones de tiempo y de distancias, hasta la definición de claves criptográficas. Las moléculas, por ejemplo, pueden ser caracterizadas según su reacción a la luz de diferentes colores. Cada molécula, en efecto, reacciona diferentemente a un color dado. Con las técnicas láser actuales los científicos disponen de un billón de colores distintos para calificar las moléculas, y en consecuencia para estudiarlas y controlarlas. Moléculas y átomos en constante movimiento y las reacciones electrónicas y las vibraciones rápidas entre esas partículas dan lugar a los procesos químicos y biológicos. La técnica láser, que permite actualmente producir impulsiones ópticas o electrónicas de una duración de 200 attosegundos (una trillonésima parte de segundo) autoriza la medición de la dinámica de numerosas reacciones químicas. La óptica cuántica y los láseres han dado también resultados espectaculares en el campo de la medición de distancias, por ejemplo. Gracias a la espectroscopia láser, el metro es definido ahora mediante una vibración del átomo de cesio y no por el patrón de metal depositado en Sevres (Francia).

La teoría de Glauber y las experiencias de Hall y Hänsch están en el origen de la información cuántica, de la que podemos esperar toda una revolución tecnológica de la información basada en las propiedades cuánticas de la luz.

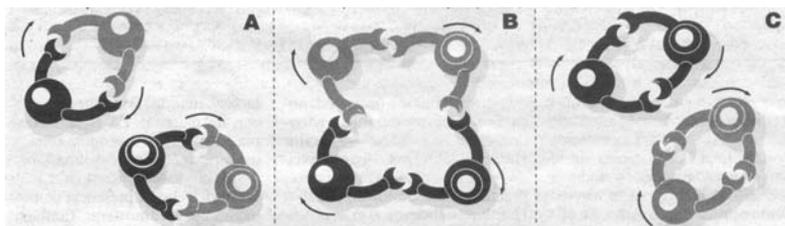
El Nobel de Química

El francés Yves Chauvin (de 74 años, director honorífico de Investigación del Instituto francés del Petróleo, en Ruel-Malmaison, y asesor de la Universidad de Lyon) y los norteamericanos Robert H. Grubbs (de 60 años, profesor del Instituto de Tecnología de California) y Richard R. Schrock (63 años, profesor del Instituto de Tecnología de Massachussets, MIT) han sido los premiados por sus trabajos en química orgánica, concretamente por el desarrollo del método de

metátesis en la síntesis de productos orgánicos. El primero en calidad de iniciador y los otros dos por el desarrollo y aplicaciones posteriores del proceso que implica la ruptura de las uniones entre átomos de carbono y la creación de otras nuevas, de modo que forman productos diferentes. Con ello se permite crear métodos más eficientes y simples —ahora son necesarios menos pasos y recursos— y menos contaminantes. Para la Academia de Ciencias *la imaginación pronto será el único límite para la construcción de nuevas moléculas*, según se dijo al anunciar a los ganadores del Premio.

Es conocido que las propiedades de las moléculas varían de acuerdo a cómo sus átomos están unidos y en qué orden. Si se unen de otra manera se logra una nueva molécula. *Antes de los descubrimientos de estos tres científicos ya se cambiaban de lugar a los átomos, pero se lo hacía empleando más solventes y más reactivos que ahora. El aporte de ellos fue simplificar y abaratar todo este proceso*, el Comité Nobel añadió que la metátesis *representa un gran avance para la química verde, al reducir desechos potencialmente tóxicos por medio de una producción más inteligente. La metátesis es un ejemplo de cómo se aplica ciencia básica para el beneficio del hombre, la sociedad y el medio ambiente*. En este sentido también se han manifestado químicos de diversos países, enfatizando que el hecho de acortarse las etapas para sintetizar una molécula, el proceso industrial es más fácil, el consumo de compuestos químicos menor y se reduce la cantidad de desechos que la industria vierte al medio ambiente.

Una reacción de metátesis se efectúa cuando un grupo cercano lleva electrones a un átomo deficiente y luego se queda allí. Sin embargo, sucede a veces que un grupo trae electrones y luego vuelve al lugar de donde provenía, lo que origina los llamados efectos de grupos vecinos; efectos intramoleculares que influyen en una reacción a través de una participación directa de un grupo cercano al centro de la reacción, es decir, por medio de un movimiento dentro del rango de un enlace.



El metal y su pareja se unen (A) y cuando se encuentran al par de olefina forman un corro con él (B). Transcurrido un tiempo se sueltan y comienzan a bailar con su nueva pareja, formando un nuevo par catalizador dispuesto a continuar en la metátesis (C)

(Fuente: El País, 12 de octubre de 2005, p. 32).

El descubrimiento de la metátesis de olefinas (compuestos orgánicos con un doble enlace carbono-carbono, $C=C$) se debe a Herbert S. Eleuterio en la década de los años cincuenta, trabajando con catalizadores de wolframio en la empresa estadounidense *Du Pont* en la que se han descubierto muchos de los polímeros más importantes. Y fue N. Calderon quien dio nombre de metátesis de olefinas a la reacción y propuso una explicación, es decir el mecanismo de ella. Otra interpretación mecanística, quizás más rigurosa, fue sugerida por el recientemente galardonado Robert Grubbs. Sin embargo ninguna de estas explicaba satisfactoriamente la formación de las mezclas de olefinas que se observaban experimentalmente. Fue Yves Chauvin, junto con su doctorando J.-L. Hérisson, quien, en 1971, describió en un trabajo fundamental el mecanismo que implicaba la existencia de un centro de crecimiento estable en las reacciones de polimerización. Trabajo publicado en francés en la no muy relevante revista *Die Makromolekulare Chemie*, donde se propone el mecanismo esencialmente aceptado en la actualidad. En este caso, como ocurriera con Derek Barton (Nobel en 1969) bastó una publicación científica para merecer el Premio Nobel de Química.

Tras los trabajos de Chauvin, Schrock y Grubbs y otros muchos el campo de la metátesis utilizando catalizadores organo-metálicos se ha diversificado de manera extraordinaria aplicándose en áreas muy variadas. Ejemplos que lo ilustran son la síntesis de sustancias como la civetona (obtenida de glándulas de las civetas machos africanas, a las que se mantiene de por vida en pequeñas jaulas) y la muscona (conseguida después de matar a los ciervos almizcleros) para obtener perfumes con olor a almizcle de gran valor. Con las reacciones de metátesis se podrá obtener, de manera más eficiente y sin molestar a animales ni al medio ambiente.

Para que estas reacciones de metátesis, como hemos dicho, funcionen es necesario usar catalizadores específicos y el estudio de la naturaleza de estos es lo que ha conducido a la concesión del Nobel este año, al especificar la Academia sueca que las industrias química y biotecnológica utilizan este proceso de metátesis para producir plásticos más fuertes para bolsas y botellas de plástico, aceites esenciales para perfumes, ingredientes activos para medicamentos, hasta feromonas de insectos para controlar plagas agrícolas y drogas más eficaces para tratar el sida, el Alzheimer y la artritis, entre otras enfermedades. Ya en la década de los años setenta Chauvin explicó cómo funcionan las reacciones de metátesis y qué tipo de catalizadores se debían utilizar para lograrlas, es decir, qué elementos metálicos son más susceptibles de servir de catalizador en las mismas.

Hallada, pues la receta del mecanismo, el paso siguiente consistía en desarrollar esos catalizadores. En 1990 Richard Schrock produjo un catalizador metálico compuesto para la metátesis, *pero era difícil de usar, inestable, caro y no se podía*

ni exponer al aire. En 1992, finalmente Robert Grubbs desarrolló un catalizador mejor y que se podía exponer al aire. Ambos investigadores han dicho, al conocer el Premio que se sentían *impactados y emocionados* al enterarse de que habían sido premiados con el Nobel.

Schrock contó que había escuchado rumores de que podía ganar el premio, pero que nunca los había creído, *el corazón me late a 200 por segundo*, declaró a una radio. Grubbs tampoco pudo ocultar su alegría: *Lo primero que hice fue llamar a mis hijos. Es sensacional compartir algo como el Premio Nobel con los propios hijos.* Por su parte Yves Chauvin, comenató que *sabía que mi investigación era importante. Abrí el camino, pero mis colegas estadounidenses al trabajar sobre mi investigación permiten que obtenga este premio hoy.* Lejos de emocionarse con la distinción, Chauvin se mostró así: *Este premio me es sumamente incómodo. Mis descubrimientos tienen casi 40 años y yo soy ya un hombre viejo.* Para concluir diciendo que *mi reacción es más bien de molestia. Tenía una vida tranquila y ahora ya no. Era más feliz cuando hice este descubrimiento que hoy por el anuncio del Premio; es un tema en el que trabajé hace 35 años. Ahora me dicen que es interesante, para mí es evidente. Mis colegas estadounidenses lo demostraron. Ahora no voy a dar saltos de alegría*, añadió y concluyó estas declaraciones asegurando que no piensa viajar a Estocolmo el 10 de diciembre para recibir el Nobel.

El proceso químico de la metátesis de olefinas y otras que utilizan catalizadores metálicos han dado origen a una revolución científica tranquila, ecológica o verde, que está transformando la química en particular y a la ciencia en general, avanzando hacia el objetivo de lograr una química sostenible. La catálisis organo-metálica, a medio camino entre la química inorgánica y la química orgánica, es una de las más activas hoy en día y cuenta en los centros de investigación españoles con grupos de excelencia investigadora repartidos por toda la geografía científica tanto en estudios mecanísticos como en el desarrollo de nuevos métodos. Sin duda, podemos seguir apostando por futuros premios al desarrollo de otras reacciones que también están contribuyendo a cambiar radicalmente la manera de entender y practicar la síntesis química, permitiéndonos avanzar con mayor rapidez y selectividad en la síntesis de moléculas complejas que son la base de los plásticos avanzados y fármacos del futuro.

¿Llegará el día que algunos de nuestros investigadores en esa área de trabajo sean reconocidos por la Academia de Ciencias de Suecia con el Nobel de Química? grupos los hay con méritos y cualidades y bagaje intelectual para competir en igualdad de condiciones con otros extranjeros, básteme citar algunos de las Universidades y del Consejo Superior de Investigaciones Científicas de Sevilla, Zaragoza, Oviedo o Madrid.