Nota de prensa
22 de febrero de 2023

En la categoría de Ciencias Básicas

Premio Fronteras del Conocimiento a Anne L'Huillier, Paul Corkum y Ferenc Krausz por hacer posible la observación del movimiento de partículas subatómicas en la escala de tiempo más breve captada por el ser humano

- **Los tres galardonados han desarrollado las técnicas de vanguardia** que hoy permiten a los físicos observar los movimientos de los electrones de un átomo en la escala del 'attosegundo', que equivale a la trillonésima parte de un segundo
- **"Un attosegundo es aproximadamente el tiempo que tarda la luz** en atravesar un átomo y es la escala natural del movimiento electrónico en la materia. Esta escala temporal era hasta ahora inaccesible para los estudios experimentales debido a la falta de pulsos de luz con una duración lo suficientemente corta", destaca el acta del jurado
- **Las herramientas de luz láser desarrolladas por los premiados han abierto** un nuevo campo de investigación que puede impulsar múltiples aplicaciones en áreas diversas como la electrónica, el diagnóstico de enfermedades, el desarrollo de nuevos materiales y la búsqueda de fuentes limpias de energía

El Premio Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento en Ciencias Básicas ha sido concedido en su decimoquinta edición a Anne L'Huillier (Universidad de Lund, Suecia), Paul Corkum (Universidad de Ottawa, Canadá) y Ferenc Krausz (Instituto Max Planck de Óptica Cuántica, Alemania), los tres pioneros de la llamada *física del attosegundo* o *attofísica*, que han hecho posible la observación de fenómenos subatómicos en la escala de tiempo más breve captada por el ser humano.

22 de febrero de 2023

Los premiados, según destaca el acta del jurado, "han mostrado cómo observar y controlar el movimiento de los electrones en los átomos, las moléculas y los sólidos con pulsos de luz ultracortos en escalas de tiempo de unos cien attosegundos. Un attosegundo es aproximadamente el tiempo que tarda la luz en atravesar un átomo y es la escala natural del movimiento electrónico en la materia. Esta escala temporal era hasta ahora inaccesible para los estudios experimentales debido a la falta de pulsos de luz con una duración lo suficientemente corta".

Gracias a la *attofísica*, hoy es posible realizar observaciones directas de fenómenos de la naturaleza que anteriormente estaban vetados a la percepción humana. "Es un gran avance poder comprobar experimentalmente lo que hasta ahora solo podíamos imaginar teóricamente. Esta interacción entre experimentos y teoría está inspirando muchas ideas", resalta el presidente del jurado Theodor W. Hänsch, Director de la División de Espectroscopia Láser en el Instituto Max Planck de Óptica Cuántica (Alemania) y Premio Nobel de Física.

La *attofísica*, explica Paul Corkum, "trata de realizar las mediciones más rápidas que nosotros como humanos podemos realizar. Para mí, eso la sitúa en la vanguardia del conocimiento". Como expone el premiado, "un attosegundo es a un segundo lo que un segundo es a la edad del universo. ¿Se imagina algo tan breve como eso?". En cifras, un attosegundo es la trillonésima parte de un segundo, es decir: 0,000000000000000001 segundos.

"Esa es la escala de tiempo a la que se mueven los electrones en todos los átomos de los que se compone la materia, incluyendo nuestros propios cuerpos", señala por su parte Fernando Martín, catedrático de Química Física de la Universidad Autónoma de Madrid, director científico de IMDEA-Nanociencia y nominador de los tres premiados. "Por lo tanto, para poder observar en tiempo real cómo se mueven los electrones en la materia, necesitábamos una tecnología que nos permitiera acceder a esa escala de tiempo. Esto es precisamente lo que consiguieron los tres galardonados".

Una 'cámara' ultrarrápida capaz de 'filmar' los movimientos de electrones

Las herramientas desarrolladas por L'Huillier, Corkum y Krausz son como una cámara con un tiempo de exposición tan asombrosamente ultrarrápido, que es capaz de captar incluso el movimiento de un electrón que tarda 150 attosegundos en dar una vuelta completa en torno al núcleo de un átomo de hidrógeno.

22 de febrero de 2023

"Si quieres filmar una película de cómo se mueve un coche", expone el profesor Martín, "tienes que hacer fotogramas con intervalos de tiempo muy cortos, para poder captar su movimiento. Si sacas fotos con un tiempo de exposición de un minuto, para cuando acabas de hacer la foto el coche se ha ido y solo consigues una imagen borrosa o ni siquiera eso. Es decir, para poder visualizar algo, tienes que ser capaz de hacer fotos en intervalos de tiempo y con una duración mucho menor que el tiempo que tarde el objeto en moverse significativamente. Esto es lo que lograron los tres premiados en la escala de tiempo a la que se mueven los electrones, gracias a pulsos de luz generados con láseres ultrarrápidos que solo se emiten durante unos pocos attosegundos".

Las técnicas de la *attofísica* no solo permiten hoy captar el movimiento de los electrones, sino que además han abierto la puerta a la posibilidad de manipular estas partículas subatómicas. "Una vez que logras la capacidad de visualizar este movimiento en tiempo real", resalta Martín, "probablemente puedas utilizar también esas fuentes de luz para manipularlo, y a partir de ahí modificar su comportamiento y sus propiedades, con aplicaciones en múltiples ámbitos, desde la biomedicina y la electrónica hasta la búsqueda de nuevas fuentes limpias de energía".

Por todo ello, tal y como ha resaltado el jurado, "estas contribuciones pioneras han abierto nuevas y apasionantes fronteras en distintos campos, como la física atómica, la fotoquímica y la ciencia de los materiales".

Los hallazgos que sembraron las semillas de la 'attofísica'

En 1987, Anne L'Huillier realizó un descubrimiento que resultó fundacional para el campo de la *attofísica*. En aquel momento, L'Huillier era investigadora posdoctoral en el Centro de Investigación Nuclear Saclay, cerca de París, y quería averiguar qué sucedía al someter a los átomos a pulsos breves e intensos de luz láser infrarroja. Esperaba ver luz fluorescente, pero se sorprendió al comprobar que los átomos parecían emitir ondas de luz a altísimas frecuencias, es decir, rayos X de altísima energía.

L'Huillier había alcanzado la frecuencia más alta jamás lograda al hacer interaccionar pulsos de luz láser con la materia. "Era muy fascinante, fue el primer paso para generar un pulso de attosegundos. Desde entonces he trabajado en este campo durante toda mi carrera, realizando contribuciones en diferentes aspectos de esta investigación".

Reconstruyendo lo sucedido, la científica reparó en que el láser actuaba sobre los átomos como

las olas de mar sobre un alga sujeta a una roca. Cada vez que llega una ola, el alga se extiende completamente, para luego replegarse cuando la ola se retira. Por eso, las algas oscilan arriba y abajo en sintonía con las olas. De la misma forma, la llegada de un pulso de láser provocaba que los electrones, que envuelven a los átomos, se alejaran, y posteriormente volvieran a su posición inicial cuando el pulso de láser se retiraba. En el camino de vuelta, los electrones emitían aquellas ondas de luz de altísima frecuencia.

La metáfora del alga es invención de Paul Corkum en base a la reconstrucción de L'Huillier. Además de dar con una visualización intuitiva de este fenómeno, Corkum decidió estudiarlo desde el punto de vista teórico y desarrolló un modelo que describía matemáticamente la interacción entre el láser y los átomos. El descubrimiento de L'Huillier y el modelo teórico de Corkum sembrarían la semilla de lo que hoy es la *attofísica*.

Los pulsos de luz más cortos en la historia de la ciencia

Mientras visitaba Viena en la década de 1990, Corkum conoció a Ferenc Krausz, entonces un joven investigador posdoctoral en esa universidad. "Corkum me inspiró como nadie con sus conceptos, que indicaban que podría haber una manera de avanzar hacia una escala de tiempo hasta entonces inaccesible, y lograr que los procesos extremadamente rápidos fueran observables", recuerda Krausz.

Corkum y Krausz conocían el trabajo de L'Huillier y enseguida concluyeron que podría ser la base para generar los pulsos de luz más cortos jamás creados. Tenían presente que, en general, los pulsos cortos de luz eran el vehículo para llegar a observar el universo de lo pequeño. Con pulsos de luz sólo un poco más largos de los que ellos querían crear, ya se había logrado atisbar el movimiento de los átomos dentro de las moléculas.

"La idea es la misma que cuando capturas el movimiento de un coche de Fórmula 1 o el de una bala. Tomas una serie de fotografías muy seguidas para reconstruir cómo la bala impacta sobre la pared", explica Krausz, fotografías que luego se pueden reproducir a cámara lenta para observar todos los detalles del movimiento.

Pero ellos querían ampliar todavía más esta idea de la fotografía ultrarrápida para alcanzar a ver el movimiento de los electrones. Estas minúsculas partículas se mueven hasta mil veces más rápido que los átomos, y por tanto se necesitaban pulsos de luz mucho más breves que los que se podían crear en aquel momento: necesitaban llegar hasta los attosegundos.

22 de febrero de 2023

Fue así como repararon en que las ondas de luz generadas por L'Huillier eran las candidatas ideales para la tarea. Aquellas ondas oscilaban a frecuencias tan altas que emitían pulsos de luz de unos cuantos attosegundos de duración.

Pero no estaba todo conseguido: los pulsos, a pesar de ser breves, llegaban en una sucesión de muchos pulsos seguidos. Sin embargo, para que de verdad hicieran las veces de una cámara ultrarrápida, era necesario aislar cada pulso para poder emitirlos de uno en uno.

"Tener todo el tren de pulsos es más o menos como tener una cámara que tiene una velocidad de obturación altísima. Pero, en lugar de abrir el obturador una sola vez, lo abre y lo cierra todo el tiempo, y eso no suele ser muy útil. Lo que quieres es poder abrir el obturador una vez y cerrarlo muy rápido, para tomar una sola foto. Lo mismo ocurre cuando intentamos capturar los procesos microscópicos", expone Krausz.

Para lograr aislar un solo pulso de luz, dieron con una idea sencilla pero eficaz: decidieron acortar el pulso inicial de luz infrarroja (el que hace las veces de la ola de mar) todo lo posible, para que el electrón (el alga) subiera y bajara una sola vez. Así fue como obtuvieron un solo pulso de luz de unos cien attosegundos de duración.

Aquel experimento, publicado en 2001, marcó "el nacimiento de la *attofísica* experimental", según Krausz. Abrió la puerta a observaciones detalladas del movimiento de los electrones y también validó una serie de predicciones formuladas por la física teórica décadas atrás pero que nunca se habían podido comprobar en el laboratorio.

Una de estas predicciones es el llamado efecto túnel, un fenómeno predicho por la física cuántica en el que un electrón es capaz de atravesar una barrera sin tener la energía suficiente para lograrlo. Aunque había ciertas pruebas de que el efecto túnel ocurría realmente, nadie había logrado observar su desarrollo en tiempo real. Gracias a la técnica desarrollada por Corkum y Krausz en base al descubrimiento de L'Huillier, se obtuvo la primera *película* del efecto túnel.

En busca de aplicaciones en campos como la electrónica y la biomedicina

Ahora que la física de los attosegundos ha demostrado claramente su potencial, los premiados tratan de exprimirla al máximo para conocer a fondo la materia de la que está compuesta la naturaleza y desarrollar posibles aplicaciones en campos como la electrónica y la biomedicina.

22 de febrero de 2023

"Este campo de investigación se está expandiendo en muchas direcciones", valora L'Huillier. "Yo he tenido el privilegio de estar en él desde el principio y he visto crecer las ideas, he visto los pasos principales en todo el proceso. Creo que el área se dividirá en subáreas", continúa, como ya ha visto ocurrir en otras líneas de investigación próximas a la suya.

Para la científica, el próximo reto es acercarse a la ciencia de la información cuántica. Actualmente estudia maneras de observar de cerca fenómenos como el entrelazamiento, una de las propiedades más sorprendentes de la mecánica cuántica, ya que permite que dos partículas separadas, incluso a kilómetros de distancia, tengan un comportamiento conjunto que la física clásica no puede explicar. Poder comprenderlo de la manera más precisa posible seguramente abra la puerta a un mayor desarrollo de las tecnologías cuánticas, aunque la motivación de L'Huillier no es necesariamente práctica: "Es un aspecto nuevo y no podemos predecir ahora mismo adónde llevará, pero es fascinante", declara.

Además, la investigadora expone que los láseres que actualmente se utilizan para provocar la emisión de pulsos de attosegundos son muy especializados. Por eso se plantea desarrollar maneras de utilizar láseres más comunes, disponibles comercialmente, para generar el mismo efecto. "Creo que serán muy útiles para aplicaciones más estándar, incluso industriales de esta tecnología", afirma.

Por su parte, Corkum ya ha empleado los pulsos de attosegundos generados no solo por átomos aislados, sino también por conjuntos de átomos de semiconductores como el silicio. Los semiconductores están en la base de toda la electrónica moderna, y el científico considera que la combinación de todo el conocimiento previo sobre estos materiales con la nueva posibilidad de provocar que emitan pulsos de attosegundos es "una tecnología muy poderosa".

Krausz también considera que la *attofísica* puede impulsar una nueva revolución en el campo de la informática: "Los electrones desempeñan un papel extremadamente importante en los nanocircuitos, son los responsables de conectar y desconectar la corriente eléctrica y, de este modo, procesar la información a velocidades cada vez mayores. Si queremos agilizar el procesamiento de señales para construir ordenadores cada vez más potentes, de nuevo, tenemos que entender la forma en que se mueven los electrones en estas diminutas dimensiones. Y al hacerlo, tenemos la oportunidad de avanzar en el procesamiento electrónico de señales hasta su límite último".

Krausz, además, ha comenzado a explorar el potencial biomédico de los pulsos de attosegundos

para diagnosticar enfermedades. Según explica, al retirar todas las células de una muestra de sangre, lo que queda es el plasma sanguíneo o el suero sanguíneo (en función de la manera de prepararlo). Las moléculas que allí residen contienen información valiosísima acerca del estado de salud del individuo al que pertenecen, y el investigador está estudiando maneras de emplear los pulsos de attosegundos para extraer esta información.

"Mediante mediciones increíblemente sensibles, podemos analizar las moléculas con enorme precisión", afirma, resaltando que, en análisis preliminares de muestras, "con esta técnica hemos podido detectar ocho tipos diferentes de cáncer. También hemos detectado un tipo de enfermedad coronaria muy grave, prediabetes, diabetes e infarto". Estas mediciones, según argumenta el científico, podrían ser muy útiles en el futuro para diagnosticar multitud de enfermedades de manera temprana.

Actualmente Krausz está tratando de validar los resultados mediante un ensayo clínico con 10.000 personas a lo largo de varios años, y su esperanza es que pueda llegar a aplicarse de aquí a una década.

Nominadores

Anne L'Huillier, Paul Corkum y **Ferenc Krausz** han sido nominados por Stephen Leone, titular de la cátedra John R. Thomas de Química Física en la Universidad de California en Berkeley, Estados Unidos; Fernando Martín, catedrático de Química Física de la Universidad Autónoma de Madrid y director científico del proyecto Severo Ochoa de IMDEA-Nanociencia (España); y Pascal Salières, director del Grupo de Attofísica en CEA-Saclay (Comisión Francesa de Energía Atómica y Energías Alternativas), Francia.

Biografía de los premiados

Anne L'Huillier (París, Francia, 1958), de nacionalidad francesa y sueca, obtuvo en 1979 un doble máster en Física y Matemáticas y se doctoró en Ciencias Físicas en la Universidad Pierre y Marie Curie de París en 1986. Su trabajo doctoral lo hizo en lo que hoy se conoce como la Comisión de Energía Atómica y Energías Alternativas (CEA), entidad pública de investigación en la que fue investigadora permanente desde 1986 a 1995. Ese año, y tras realizar investigación postdoctoral en la Universidad Tecnológica de Chalmers (Gotemburgo), la Universidad del Sur de California (Los Ángeles) y el Laboratorio Nacional Lawrence Livermore (Livermore), se incorporó a la Universidad de Lund, donde es catedrática de Física Atómica

desde 1997. Beneficiaria de ocho proyectos financiados por la Unión Europea desde 1993 a la actualidad, fue Miembro del Comité Nobel de Física entre 2010 y 2015.

Paul Corkum (Saint John, New Brunswick, Canadá, 1943) se doctoró en Física en la Universidad de Lehigh (Belén, Pensilvania, Estados Unidos) en 1972 y en 1973 se incorporó al Consejo Nacional de Investigación de Canadá (CNRC), donde medio siglo después dirige el Laboratorio Conjunto de Ciencia del Attosegundo, una colaboración entre el CNRC y la Universidad de Ottawa, de la que Corkum es *Distinguished University Professor*. Es asimismo director del Centro Conjunto de Fotónica Extrema de la Universidad de Ottawa y ocupa cargos académicos en la Universidad de Texas A&M y en la Universidad de Nuevo México. Autor de más de 360 artículos en revistas científicas que acumulan más de 47.000 citas, es o ha sido asesor del Consejo Nacional de Investigación de Estados Unidos del Consejo Europeo de Investigación y del Consejo de Investigación en Ciencias Físicas e Ingeniería (Reino Unido).

Ferenc Krausz (Mór, Hungría, 1962), de nacionalidad húngara y austriaca, se graduó simultáneamente (entre 1981 y 1985) en Ingeniería Eléctrica por la Universidad de Tecnología y Economía de Budapest y en Física Teórica por la Universidad Eötvös Loránd de la capital húngara. Poco después se trasladó a Austria, donde se doctoró en Física del Láser en la Universidad Tecnológica de Viena (1991), centro donde llegaría a ser catedrático de Ingeniería Eléctrica (1999-2004). Desde 2004 es catedrático de Física Experimental en la Universidad Ludwig Maximilian de Múnich y desde 2003 uno de los cinco directores del Instituto Max Planck de Óptica Cuántica. Krausz es, asimismo, director científico del Centro de Investigación en Huella Digital Molecular de Budapest y director del Centro de Aplicaciones Avanzadas del Láser (Múnich) y del Laboratorio de Fotónica Extrema de la misma ciudad.

Jurado y Comité Técnico de Ciencias Básicas

El jurado de esta categoría ha estado presidido por **Theodor Hänsch**, director de la División de Espectroscopia Láser del Instituto Max Planck de Óptica Cuántica (Alemania) y premio Nobel de Física; y ha contado como secretario con **Hongkun Park**, titular de la Cátedra Mark Hyman Jr. de Química y catedrático de Física en la Universidad de Harvard (Estados Unidos). Los vocales han sido **Emmanuel Candès**, titular de la Cátedra Barnum-Simons en Matemáticas y Estadística en la Universidad de Stanford (Estados Unidos); **María José García Borge**, profesora de investigación en el Instituto de Estructura de la Materia (IEM, CSIC); **Nigel Hitchin**,

catedrático emérito Savilian de Geometría en el Instituto Matemático de la Universidad de Oxford (Reino Unido); **Aitziber López Cortajarena**, profesora de investigación Ikerbasque, directora científica y líder del Grupo de Nanotecnología Biomolecular de CIC biomaGUNE, Centro de Investigación Cooperativa en Biomateriales; **Martin Quack**, director del Grupo de Cinética y Espectroscopia Molecular en el Laboratorio de Química Física de la Escuela Politécnica Federal (ETH) de Zúrich (Suiza); y **Sandip Tiwari**, titular de la Cátedra Charles N. Mellowes de Ingeniería en la Universidad Cornell (Estados Unidos) y *Distinguished Visiting Professor* en el Instituto Indio de Tecnología en Kanpur (India).

El **Comité Técnico de Apoyo**, encargado de la preevaluación de las nominaciones, se ha estructurado en tres comisiones. La Comisión de Física ha estado coordinada por **Marisol Martín González**, investigadora científica en el Instituto de Micro y Nanotecnología (IMN-CNM, CSIC), e integrada por **Alberto Casas González**, profesor de investigación en el Instituto de Física Teórica (IFT, CSIC-UAM); **Alfonso Cebollada Navarro**, profesor de investigación en el Instituto de Micro y Nanotecnología (IMN-CNM, CSIC); **Lourdes Fábrega Sánchez**, científica titular en el Instituto de Ciencias de Materiales de Barcelona (ICMAB, CSIC); y **Alejandro Luque Estepa**, científico titular en el Instituto de Astrofísica de Andalucía (IAA, CSIC). La Comisión de Química ha estado coordinada por **José M. Mato**, director general de CIC bioGUNE y de CIC biomaGUNE, e integrada por **Miguel Ángel Bañares González**, profesor de investigación en el Instituto de Catálisis y Petroleoquímica (ICP, CSIC); **Ethel Eljarrat Essebag,** investigadora científica en el Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua (IDAEA, CSIC); **Francisco García Labiano**, coordinador adjunto del Área Global Materia e investigador científico en el Instituto de Carboquímica (ICB, CSIC); **Jesús Jiménez-Barbero**, director científico de CIC bioGUNE y profesor de investigación Ikerbasque en el Área de Glicobiología Química; **Gonzalo Jiménez-Osés**, investigador principal en el Área de Química Computacional de CIC bioGUNE; **Luis Liz-Marzán**, investigador principal en el Área de Bio-nanoplasmónica de CIC biomaGUNE; **Aitziber López Cortajarena**, profesora de investigación Ikerbasque, directora científica e investigadora principal en el Área de Nanotecnología Biomolecular de CIC biomaGUNE; y **María Luz Sanz Murias**, investigadora científica en el Instituto de Química Orgánica General (IQOG, CSIC). La Comisión de Matemáticas ha estado coordinada por **José María Martell Berrocal**, vicepresidente de Investigación Científica y Técnica del CSIC, e integrada por **María Jesús Carro Rosell**, catedrática de Análisis Matemático en la Universidad Complutense de Madrid; **Alberto Enciso Carrasco**, profesor de investigación en el Instituto de Ciencias Matemáticas (ICMAT, CSIC); **Elisenda Feliú**, *associate professor* en el Departamento de Ciencias

22 de febrero de 2023

Matemáticas de la Universidad de Copenhague (Dinamarca); y **Francisco Martín Serrano**, catedrático en el Departamento de Geometría y Topología de la Universidad de Granada.

Sobre los Premios Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento

La Fundación BBVA tiene como foco de su actividad el fomento de la investigación científica y la creación cultural de excelencia, así como el reconocimiento del talento.

Los Premios Fundación BBVA Fronteras del Conocimiento, dotados con 400.000 euros en cada una de sus ocho categorías, reconocen e incentivan contribuciones de singular impacto en las ciencias físicas y la química, la matemática, la biología y la biomedicina, la tecnología, las ciencias del medio ambiente (cambio climático, ecología y biología de la conservación), la economía, las ciencias sociales, las humanidades y la música, en especial aquellas que amplían significativamente el ámbito de lo conocido en una disciplina, hacen emerger nuevos campos o tienden puentes entre diversas áreas disciplinares. El objetivo de los galardones, desde su creación en 2008, es celebrar y promover el valor del conocimiento como un bien público sin fronteras, que beneficia a toda la humanidad, siendo la mejor herramienta para afrontar los grandes desafíos globales de nuestro tiempo y ampliar la visión del mundo de cada individuo. Sus ocho categorías atienden al mapa del conocimiento del siglo XXI.

En la evaluación de las nominaciones al Premio Fronteras del Conocimiento en la categoría de Ciencias Básicas, procedentes de numerosas instituciones y países, la Fundación BBVA ha contado con la colaboración de la principal organización pública española de investigación, el CSIC. El Consejo Superior de Investigaciones Científicas participa de manera preferente en la designación de los miembros de los Comités Técnicos de Apoyo, integrados por destacados especialistas del correspondiente ámbito de conocimiento, que llevan a cabo la primera valoración de las candidaturas, elevando al jurado una propuesta razonada de finalistas. El CSIC designa, además, la presidencia de cada uno de los ocho jurados en las ocho categorías de los premios y colabora en la designación de todos sus demás integrantes, contribuyendo así a garantizar la objetividad en el reconocimiento de la excelencia científica.

CONTACTO:
Departamento de Comunicación y Relaciones Institucionales
Tel. 91 374 52 10 / 91 374 81 73 / 91 537 37 69
comunicacion@fbbva.es
Para información adicional sobre la Fundación BBVA, puede visitar: www.fbbva.es