

DE LOS SECRETOS DEL UNIVERSO A LA VIDA COTIDIANA: ACELERADORES DE PARTÍCULAS

Victor Etxebarria

Facultad de Ciencia y Tecnología, UPV/EHU

1. INTRODUCCIÓN

Los aceleradores de partículas constituyen una de las más notables invenciones del siglo XX, que se han establecido con derecho propio no sólo como elementos centrales en la apasionante aventura de la Ciencia, sino también como potentes transformadores de la vida cotidiana de las personas. Con excepción quizás de la exploración espacial, los aceleradores de partículas probablemente suponen el mayor esfuerzo colectivo científico-tecnológico que ha conocido la Humanidad, y es uno de los ámbitos donde con mayor nitidez se observa la interacción bidireccional entre la ciencia y la tecnología, con ejemplos tangibles de cómo la ciencia da lugar a nueva tecnología, y cómo la tecnología permite a su vez establecer nueva ciencia, en un círculo virtuoso que no siempre es fácil observar en otros campos científicos.

La motivación histórica inicial de los aceleradores de partículas se encuentra en el ámbito de la ciencia básica, como herramientas para comprender nuestro Universo y responder a preguntas tan fundamentales como de qué está hecho el mundo o qué lo mantiene en “funcionamiento”. Los aceleradores estudian por tanto desde lo más pequeño (alrededor de la Física Nuclear y de Partículas), hasta lo más grande (alrededor de la Cosmología y la Astrofísica Nuclear) y en general tratan de ayudar a desentrañar las Leyes Fundamentales del Universo.

Es remarcable, sin embargo, que hoy día la abrumadora mayoría de los aceleradores de partículas existentes en el mundo no se dedican a estas trascendentes cuestiones, sino que se concentran mayoritariamente en hospitales o en industrias, y se utilizan en ámbitos tan de la vida diaria como las terapias, la radiofarmacia, la implantación iónica, el tratamiento de superficies, la esterilización alimentaria, la potabilización de agua o el procesado industrial. Son los aceleradores por tanto un ejemplo de campo donde las grandes inversiones realizadas en ciencia básica se han rentabilizado con creces y transformado en mejor vida para las personas en un tiempo récord.

2. LOS SECRETOS DEL UNIVERSO

Los primeros pasos en ciencia de partículas se dieron hace ya más de un siglo. Uno de los pioneros, **Ernest Rutherford**, en el legendario *Cavendish Laboratory* de

Cambridge, demostró hasta qué punto se podía aprender colisionando partículas. Aunque él no tenía aceleradores, usando una fuente de radiación alfa (núcleos de helio) realizó su famoso experimento de la lámina de oro y observó cómo muchas partículas alfa no atravesaban directamente la lámina, sino que se deflectaban en diversos ángulos, lo cual le llevó a deducir la existencia del núcleo atómico dotado de carga eléctrica. Unos años después y en el mismo laboratorio, **John Cockcroft** y **Ernest Walton** (discípulos de Rutherford) consiguieron acelerar protones (núcleos de hidrógeno) sometidos a un campo eléctrico creado con una diferencia de potencial de varios cientos de kilovoltios. Con estos protones acelerados consiguieron romper núcleos de litio y transformarlos en helio, en la primera transmutación artificial de la historia [1]. Aún hoy día el *acelerador electrostático de Cockcroft-Walton*, se sigue utilizando, aunque la tecnología de aceleradores ha evolucionado mucho desde entonces.



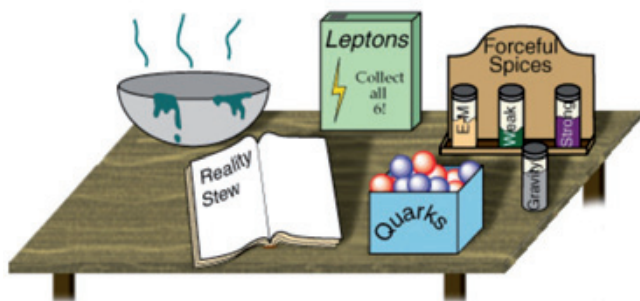
John Cockcroft (izquierda) y Ernest Walton, flanqueando a su mentor Ernest Rutherford (imagen: Cavendish Laboratory, University of Cambridge)

El *Large Hadron Collider* (LHC) del CERN en Ginebra es el ejemplo más conocido de acelerador dedicado a ciencia básica. Se trata de un sincrotrón de más de 27 km de perímetro enterrado en un túnel a 100 m de profundidad por el que circulan dos chorros de protones en direcciones opuestas que se hacen colisionar en cuatro puntos principales, en los que, también enterrados en grandes cavernas, se sitúan sofisticados detectores del tamaño aproximado de media catedral. La energía de los protones en el LHC (10 millones de veces mayor que la utilizada por Cockcroft y Walton para “romper el átomo”) y la luminosidad del haz (que mide el caudal y cómo de compactas están las partículas) son suficientemente altas como para poder estudiar experimentalmente algunos de los enigmas más fundamentales de la ciencia, tradicionalmente pertenecientes sólo al dominio teórico de la Física, en la frontera del conocimiento actual.

De las múltiples líneas de investigación fundamental estudiadas con aceleradores, tan sólo mencionaremos a continuación dos de ellas: una que ha conocido ya un desarrollo de varias décadas y ha alcanzado un cierto nivel de madurez, y otra que apenas se encuentra en su infancia.

El Modelo Estándar y el Higgs

Los físicos han llegado a la conclusión de que todo en el Universo se compone de dos tipos básicos de partículas de materia (*quarks y leptones*) que interactúan mediante cuatro fuerzas (la electromagnética, la nuclear fuerte, la nuclear débil y la gravitatoria). Esto (salvo la fuerza gravitatoria que queda aparte) compone el llamado “*modelo estándar*” de partículas y fuerzas, que es capaz de explicar la realidad al nivel más básico. Los experimentos de altas energías efectuados en las últimas décadas mediante aceleradores, han permitido ir verificando experimentalmente la existencia real de los elementos postulados en el modelo estándar y por tanto reforzar su validez.



El Modelo Estándar: 6 leptones y 6 quarks convenientemente mezclados y aderezados con ciertas fuerzas componen la receta de la realidad que observamos (imagen: Particle Data Group CERN)

El modelo estándar predice también la existencia de un campo (similar a otros campos como los campos eléctricos, magnéticos o gravitatorios). Se trata de un campo casi indistinguible del espacio vacío, llamado *campo de Higgs*, (toma el nombre del físico **Peter Higgs** que junto con otros colegas postuló el mecanismo asociado a dicho campo en los años sesenta del siglo XX). Los físicos de partículas piensan que todo el espacio está lleno de *campo de Higgs*, y que interactuando con este campo, las partículas adquieren masa. Las partículas que interactúan fuerte con el campo de Higgs son pesadas, y las que interactúan poco con él son ligeras. Como los otros campos, el campo de Higgs debería tener una partícula asociada con él, la *partícula de Higgs*, que **Leon Lederman** (ex director de Fermilab) llamó “*The God Particle*”. Uno de los grandes éxitos del LHC ha sido el hallazgo experimental anunciado en Julio de 2012 de un bosón “*compatible con el Higgs*”, que ha supuesto un gran espaldarazo al modelo estándar, y por tanto a nuestra comprensión de la realidad, al nivel más básico y fundamental [2], en lo que es sin duda el hito

científico más importante producido en lo que llevamos de siglo XXI.

Materia oscura

Como comentábamos arriba, los aceleradores de partículas no sólo estudian lo más pequeño, sino también lo más grande. En este segundo ámbito, una de las conclusiones a las que han llegado recientemente los científicos cambia radicalmente nuestra concepción del Universo, en una revolución tan importante como la que supusieron en su día visiones como el modelo heliocéntrico de Copérnico, por ejemplo: se han dado cuenta de que más de tres cuartas partes del Universo no está hecho del mismo tipo de materia que la Tierra (y nosotros). De efectos gravitatorios observados por los astrónomos, puede inferirse la existencia de esta “*materia oscura*”, un tipo de materia que no podemos ver, y que no se compone de protones, neutrones y electrones, como nosotros. Se trata de uno de los enigmas más profundos a los que nos enfrentamos como humanidad. No sabemos qué es la materia oscura: los físicos creen que puede estar compuesta de neutrinos (que son leptones de los presentes en el Modelo Estándar) o bien de otros tipos de materia exótica hipotética de la que aún no sabemos nada. El LHC y otros aceleradores tienen un papel esencial en este campo, y por ejemplo se encuentran actualmente a la búsqueda de las llamadas WIMP (partículas masivas que interactúan con la fuerza nuclear débil) candidatas entre otras a componer la materia oscura, en un esfuerzo que nos permita conocer su naturaleza y explicar por qué la mayor parte del Universo parece ser tan diferente a nosotros.

3. LA VIDA COTIDIANA

Como hemos mencionado ya, aunque la motivación histórica inicial de los aceleradores de partículas se encuentra en la ciencia básica, la abrumadora mayoría de los aceleradores de partículas actualmente existentes en el mundo se utilizan en aplicaciones muy lejos de la cosmología, las leyes fundamentales, la física teórica o el descubrimiento de los secretos del Universo. Sin ánimo de ser exhaustivos, comentaremos a continuación algunos de las aplicaciones con impacto inmediato en la vida de las personas para las que actualmente se utilizan los aceleradores de partículas.

Medicina y radiofarmacia

Es bien conocido que los tratamientos de radioterapia se realizan mediante aceleradores. Específicamente se utilizan aceleradores de electrones, que, al ser decelerados, emiten lo que se denomina radiación de frenado (*Bremsstrahlung* originalmente en alemán) en forma de rayos X que se utilizan para terapia. También se emplean aceleradores para la producción de radiofármacos como por ejemplo el *Fluor-18* (fabricado mediante aceleradores de protones) que se utiliza como emisor de positrones en los modernos

diagnósticos PET-TAC, o el *Molibdeno-99*, probablemente el radiofármaco de uso más extendido, que se ha producido tradicionalmente en reactores nucleares, pero cuya producción mediante aceleradores tiene claras ventajas [3].

Dentro de este ámbito, una técnica prometedora, aún no empleada habitualmente en la rutina hospitalaria salvo pocas excepciones, es la terapia con hadrones o iones, en la que no se utilizan fotones (rayos X), sino que se emplean por ejemplo protones o iones carbono para depositar la energía en el tejido que se quiere eliminar, a la profundidad requerida sintonizando desde el acelerador, sin necesidad de atacar tejido sano por todo el camino recorrido, como ocurre en las terapias ordinarias de rayos X.

Biomoléculas y más

Un uso especialmente exitoso de los sincrotrones de electrones son las llamadas fuentes de luz sincrotrón, que dan lugar a rayos X extrabrillantes como consecuencia de la deceleración que los electrones experimentan al curvar

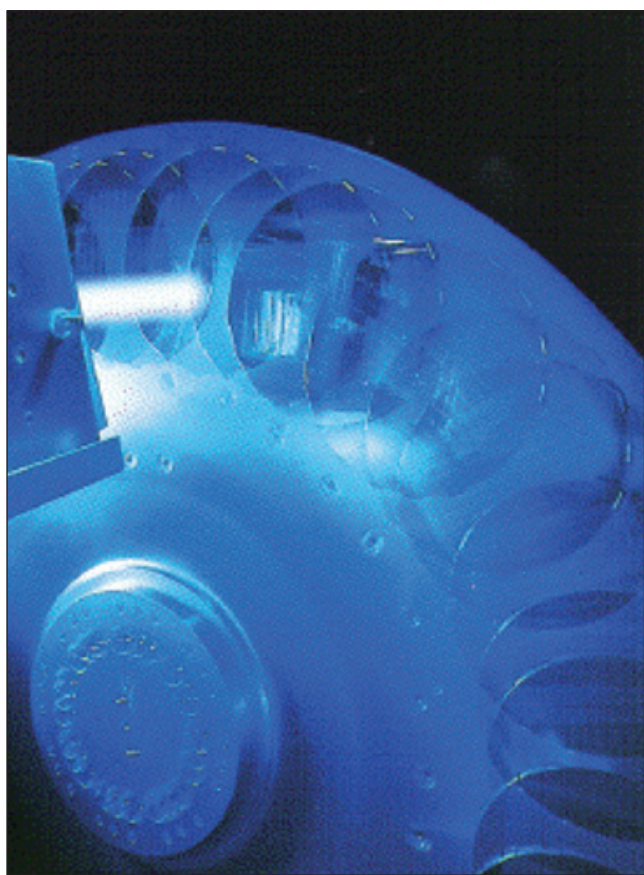
su trayectoria para hacerlos circular por un anillo, en un *bremssstrahlung* generalizado que se denomina normalmente radiación sincrotrón. Las fuentes de luz sincrotrón funcionan al modo de potentes microscopios y permiten estudiar a nivel de detalle estructuras moleculares complejas, incluyendo todo tipo de biomoléculas, mediante técnicas de dispersión (*scattering*) o de difracción de rayos X¹. Por poner algunos ejemplos dispares de empleo de radiación sincrotrón para aplicaciones con impacto directo en nuestras vidas podemos citar desde el estudio de la glicoproteína GP120 envolvente del virus de inmunodeficiencia humana VIH, hasta el desarrollo de cadenas poliméricas de gran capacidad de absorción de agua para fabricación de vendas húmedas para grandes quemados o incluso para algo tan cotidiano y útil como los modernos pañales superabsorbentes.

Esterilización, implantación iónica y tratamiento de superficies

En los últimos tiempos el uso de aceleradores de partículas en sectores industriales diversos se ha ido generalizando. Por ejemplo la industria alimentaria usa haces de electrones para esterilizar comida en su propio envase o para potabilizar agua. La industria biomédica también esteriliza suministros desechables en su propio envase mediante dicha técnica, o implanta agentes antimicrobianos (como por ejemplo iones plata) a través de aceleradores de partículas en elementos tan sensibles como las válvulas cardíacas. Otros ejemplos de implantación iónica se producen en la industria electrónica en la que el dopado de semiconductores con determinados iones (por ejemplo boro, fósforo, nitrógeno u otros) a través de aceleradores de partículas modifica y mejora las propiedades del sustrato semiconductor dependiendo de la aplicación. Incluso elementos tan cotidianos como la mayor parte de los muebles actuales que podemos tener en nuestras casas u oficinas incorporan muy frecuentemente tratamientos superficiales realizados con aceleradores de electrones, que les confieren notables propiedades de resistencia al rayado y al ensuciado.

Historia, arte, arqueología

También en ámbitos menos científicos, como la historia, el arte o la arqueología los aceleradores tienen una presencia importante y creciente. En el *museo del Louvre*, por ejemplo, funciona desde hace años el llamado AGLAE (*Accélérateur Grand Louvre d'Analyse Élémentaire*). Se trata de un acelerador de protones, deuterones o iones helio utilizado para analizar obras de arte de todo tipo. Es famoso el caso del análisis PIXE (emisión de rayos X inducida por partículas) de la figura de alabastro de la diosa Ishtar



Sistema de implantación iónica del fabricante de semiconductores Varian. (imagen: Varian Semiconductor Equipment Associates, Inc., actualmente Applied Materials Inc.)

¹ El hito más relevante de la ciencia biológica del siglo XX (el descubrimiento de la estructura de doble hélice del ADN por J.D. Watson y F. Crick, por cierto, de nuevo en el Cavendish Laboratory de Cambridge), se produjo a partir de los resultados de difracción de rayos X de R. Franklin, obtenidos con el equipo de rayos X de M. Wilkins en el King's College London.

hallada en una tumba de más de 2000 años en Mesopotamia. Los ojos rojos de la figura son rubíes que analizados por el AGLAE revelaron trazas de elementos que sitúan los rubíes en Burma. Ello revela el hecho histórico desconocido no documentado de la existencia de una ruta comercial entre el sureste asiático y Babilonia hace 20 siglos.

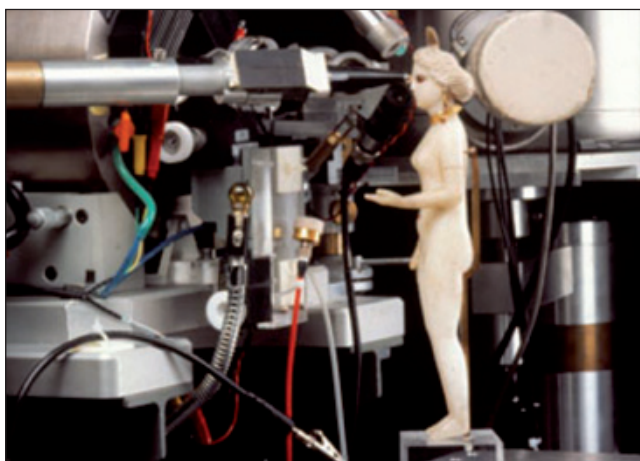


Figura de la diosa Ishtar analizada con el AGLAE en el Louvre (imagen: Laboratoire de recherche des musées de France)

Fuentes de neutrones y energía para el futuro

Ya hemos mencionado cómo Cockcroft y Walton demostraron que es posible romper núcleos atómicos a partir del impacto de protones acelerados sobre un blanco metálico. Si el metal que se emplea es más pesado que el litio y por ejemplo se usa plomo o tungsteno, y la energía y corriente de protones se regula adecuadamente con el acelerador, pueden producirse fracturas parciales que den lugar a la extracción de neutrones del núcleo metálico. Los neutrones así obtenidos se moderan y se emplean en las modernas fuentes de neutrones para observar la materia a modo de potentes microscopios de forma complementaria a como hemos visto se emplean los rayos X en las fuentes de luz sincrotrón.

Por otra parte, aprovechando esta capacidad de los aceleradores de producir neutrones, el ex-director del CERN **Carlo Rubbia** y su colaboradores propusieron en los años noventa la idea de operar un reactor nuclear subcrítico (esto es: sin suficientes neutrones como para autosostener la reacción) suministrando y regulando el flujo de neutrones requerido a través de un acelerador de protones, lo cual permitiría generar energía de forma mucho más segura que con reactores convencionales [4]. Unida a esta idea propusieron el empleo de torio como combustible, elemento natural no fisionable pero sí fértil (esto es: transformable en fisionable mediante absorción de neutrones), y mucho más abundante que por ejemplo el uranio. Aunque aún no

se ha construido un reactor subcrítico operado mediante un acelerador como el descrito, debido fundamentalmente a limitaciones actuales en la tecnología de aceleradores, sus posibles ventajas lo convierten en una seria alternativa energética en el medio plazo.

4. CONCLUSIÓN

Los aceleradores de partículas son herramientas históricamente ligadas al ámbito de la Física nuclear y de partículas, y elementos centrales en el desarrollo de la ciencia básica, pero se han convertido en los últimos años también en potentes transformadores de la vida cotidiana de las personas. Cuando aún no se ha cumplido un siglo desde su invención, el impacto de los aceleradores como herramientas, tanto para desentrañar los más fundamentales secretos del Universo, como para aplicaciones con implicación inmediata en la mejora de la vida diaria, ha sido extraordinario, y ello supone un caso claro y ejemplar de cómo las inversiones sostenidas realizadas en ciencia básica retornan con creces a las sociedades que las propician y amparan.

PARA SABER MÁS

- [1] J.D. Cockcroft and E.T.S. Walton (1932) Production of high velocity positive ions. II. The disintegration of elements by high velocity protons. *Proceedings of the Royal Society London*, A137, pp: 229-242.
- [2] CERN Press release PR17.12 (04.07.2012): CERN experiments observe particle consistent with long-sought Higgs boson.
- [3] K. Bertsche (2010) Accelerator production options for Mo-99. *Proceedings of IPAC'10*, pp: 121-123.
- [4] C. Rubbia et al. (1995) Conceptual design of a fast neutron operated high power energy amplifier. CERN/AT 95-44-ET.