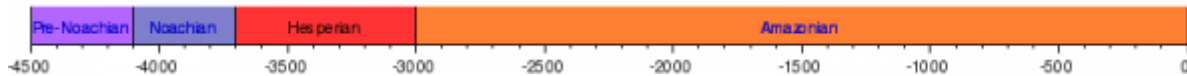


¿Sabes de qué esta hecha una moneda de 50 céntimos? ¿sabes como averiguarla...sin buscar en google?...la solución al final.

Vivimos malos tiempos para la Ciencia. Esto ya nadie lo duda. Pero yo ahora no me refiero a la crisis económica o los problemas de un sistema que debe renovarse. Me refiero a una crisis mas profunda: cultural, básicamente. La gente suele preguntar, en especial cuando te dedicas a la Ciencia básica, "¿y eso para qué sirve?". Con la exploración espacial es muy patente, ya que los proyectos de investigación son relativamente costosos y muchas personas no entienden para qué sirve todo eso. Bueno, no voy a entrar a discutir la cuestión profunda: la necesidad humana de conocimiento y su importancia para la civilización y la comprensión de nuestro lugar en el mundo. Hay algo mas tangible: la Ciencia se traduce en beneficios prácticos. Voy a poneros un ejemplo en esta entrada, y es cómo el desarrollo de instrumentación para la exploración de Marte se traduce en el desarrollo de un instrumento relativamente asequible para uso práctico aquí en la Tierra.

¿Hay vida en Marte?

La pregunta que mueve su exploración, al menos de cara al público. Respuesta rápida: en la superficie, no hay vida. Pero quizá la hubo, hace mucho tiempo. Hace mas de 3000 millones de años.



Esta es la división de las escalas geológicas en Marte. Con el comienzo del Amazoniense, hace unos 3000 millones de años, Marte quedaba como un planeta muerto. El agua prácticamente había desaparecido, la atmósfera se estaba consumiendo y la actividad volcánica iba cesando. Mientras, la Tierra se llenaba de la vida que surgió hace unos 3800 millones de años. En ese momento, Marte, en el Noachiense, era también un planeta vivo: una atmósfera densa, con nitrógeno, mucha agua formando ríos y mares, intensa actividad volcánica. Marte, en aquel momento, como la Tierra, tenía las condiciones ideales para la vida.

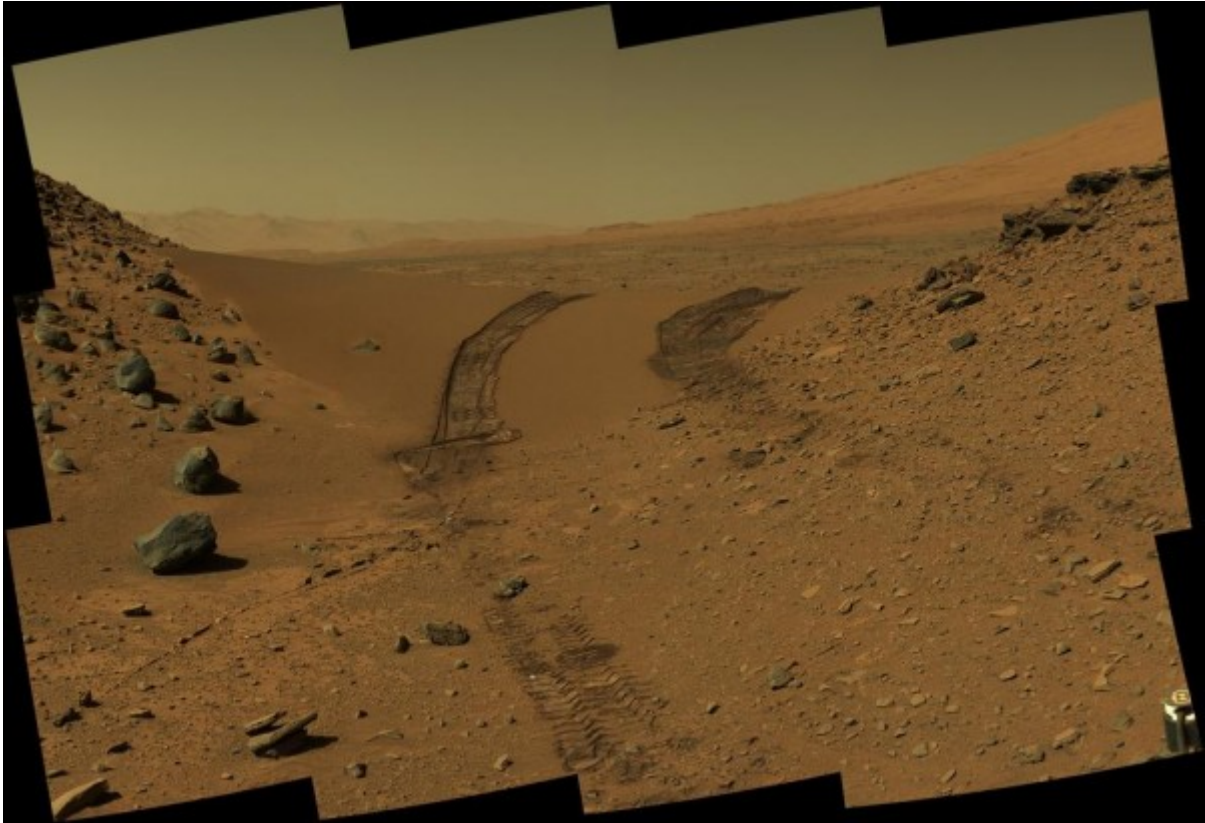


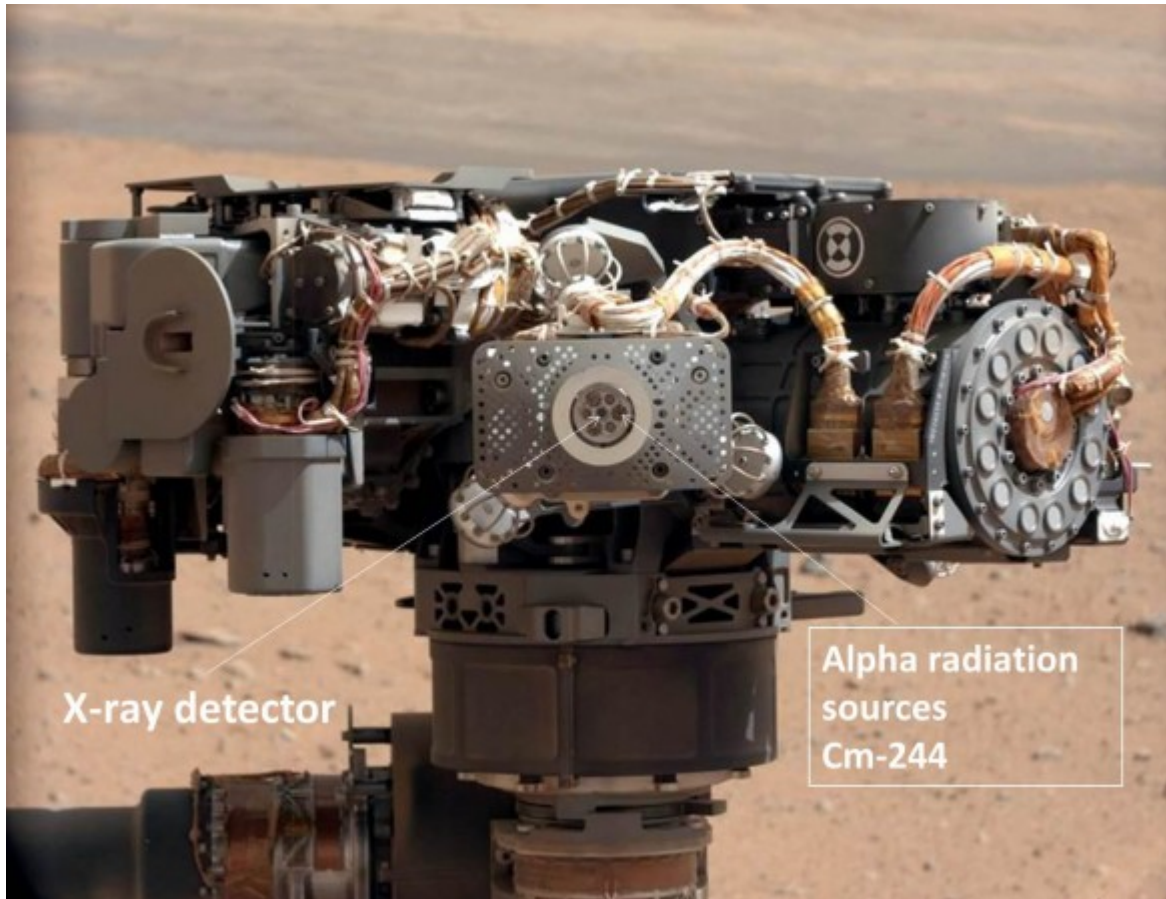
Imagen reciente (febrero 2014) de la zona de operaciones del rover Curiosity, tras pasar sobre una duna en un pequeño desfiladero llamado "Dingo gap". La imagen es en color real en las condiciones de luz de Marte. En la Tierra, las rocas de la izquierda no se verían rojas, sino grises (son basaltos). Imagen: NASA/JPL-Caltech/MSSS

El aspecto actual de Marte nos resulta familiar: un desierto rocoso y polvoriento. Las rocas son fundamentalmente basaltos y otras rocas volcánicas, que quedaron allí hace millones de años, además de areniscas y otros materiales que evidencian un pasado vivo. Pero el paisaje es inhóspito: una tenue atmósfera de CO₂ que no protege la superficie de los rayos cósmicos y las radiaciones solares y temperaturas que bajan por debajo de -100°C por las noches. Nada que ver con el Marte de hace más de 3000 millones de años, húmedo y cálido.

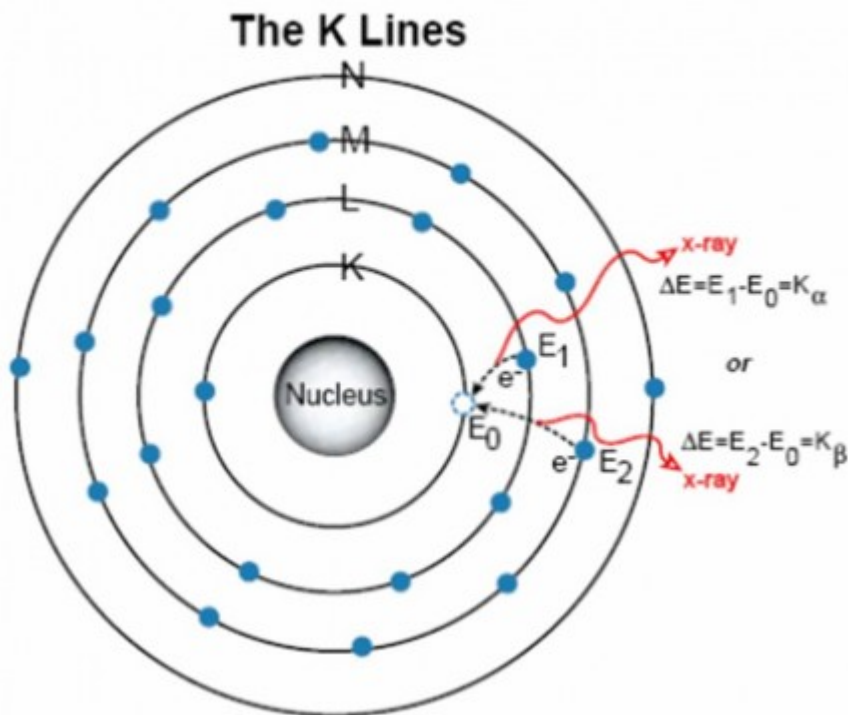
¿y cómo sabemos todo esto?. Bueno, gracias a cosas como el [programa de exploración de Marte](#). El último de ellos y la misión de exploración extraterrestre más sofisticada hasta la fecha es el [Mars Science Laboratory](#) (MSL), un completo laboratorio mineralógico y geoquímico a bordo del rover Curiosity. En el desarrollo del MSL participó España, a través del Centro de Astrobiología (CSIC-INTA). El análisis de rocas y minerales de Marte por el MSL nos permite conocer a fondo la historia de Marte y nos sugiere un pasado activo y muy rico en agua líquida.

Espectrometría APXS

El instrumento que me interesa ahora es un aparato que se utiliza para obtener el análisis elemental de rocas y minerales en Marte. Se denomina APXS (alpha particle X-ray spectrometry, o espectrometría de emisión de rayos X inducida por partículas alfa).



Este es el autoretrato del instrumento APXS, en Marte, tomado por el rover Curiosity. Situado al final de un brazo robótico, se acerca el cabezal a las rocas y se obtiene el análisis. Este instrumento fue desarrollado por el laboratorio de Ralph Gellert, de la Universidad de Guelph (Canadá), pero la idea viene de mucho antes. Se trata de aprovechar una propiedad muy interesante que tienen los átomos. Cuando son “excitados” por una fuente de energía, los electrones de los átomos saltan, moviéndose de unos niveles energéticos a otros. Cuando la fuente de energía que excita los átomos es muy potente, como por ejemplo chorros de electrones, rayos X o chorros de protones, ocurre algo inesperado: los electrones que saltan son los de los niveles inferiores:



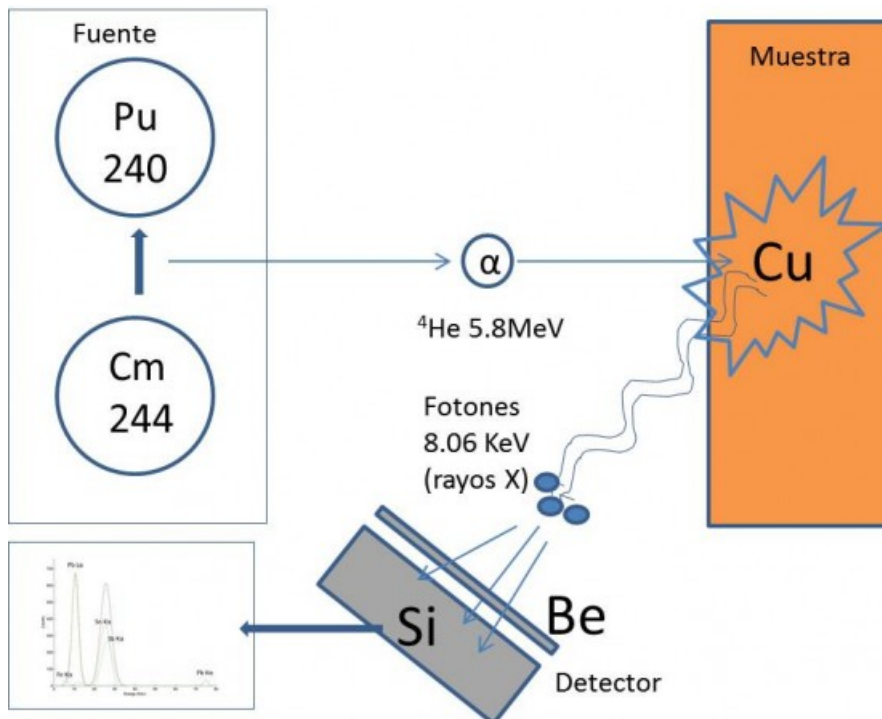
Cuando el átomo es “golpeado”, un electron en un orbital interior tipo s (nivel K en la nomenclatura espectroscópica) se va de su sitio. El orbital es completado por un electron que procede de un nivel mas externo, como un orbital p o d. Estos saltos provocan la emisión de rayos X, para compensar el cambio de energía de los electrones. Es algo parecido a lo que ocurre cuando frenamos un coche: los discos de freno se calientan, a partir de la diferencia de energía entre el coche en movimiento y el coche parado.

Lo bueno es que cada átomo tiene una energía de rayos X perfectamente definida en sus saltos de electrones. Esto nos permite identificar perfectamente cada elemento de la tabla periódica y conocer la composición de cualquier cosa. Así tenemos diferentes técnicas:

- Fluorescencia de rayos X (XRF): los átomos son excitados con rayos X.
- Emisión de rayos X inducida por protones (PIXE): los átomos son excitados con chorros de protones generados en un acelerador de partículas.
- EDS (energy dispersive spectroscopy) y EMPA (o microsonda electrónica): los átomos son excitados con una lluvia de electrones acelerados con alto voltaje.

Sin embargo, ninguna de éstas técnicas era satisfactoria para la exploración, ya que son costosas y

requieren equipo complejo y preparación de la muestra. Por ello se desarrolló la técnica APXS. Esta técnica utiliza la radiación alfa como fuente de excitación. La radiación alfa son núcleos de helio emitidos por isótopos radiactivos, como el curio, utilizado en el instrumental de exploración de Marte. Las partículas alfa emitidas durante la transmutación del curio en plutonio inciden sobre una roca. Los átomos de la roca, en respuesta a la excitación, emiten rayos X. Estos son detectados y analizados por un detector. Veamos un ejemplo:

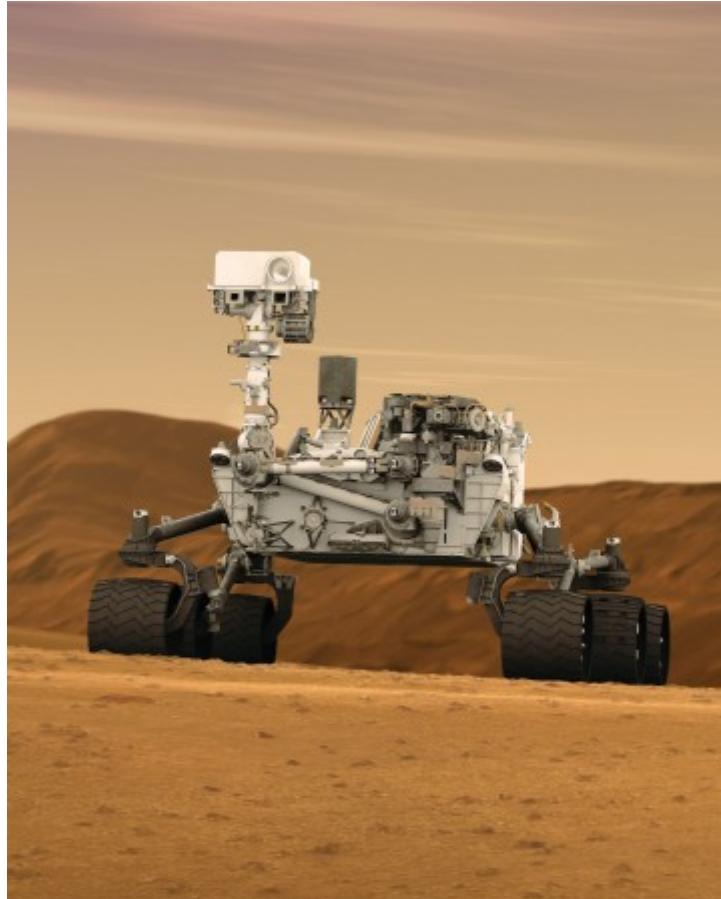


En el esquema tenemos una fuente de curio-244, que emite partículas alfa (núcleos de helio-4). Estas fuentes se fabrican en forma de siliciuro de curio, depositando vapor del metal sobre la superficie de un chip de silicio. Así, se puede fabricar una fuente potente de rayos alfa y, al fijarse el curio en el silicio, segura y no volátil.



*El curio, el metal radiactivo que
ocupa el numero 92 en la tabla
periódica*

Las partículas alfa inciden sobre una muestra, en el esquema, una pieza de cobre. Los átomos de cobre, excitados por el impacto de los núcleos de helio, emiten fotones con una energía perfectamente definida de 8.06 kiloelectronvoltios o KeV, que se corresponden a la energía liberada al rellenar una vacante electrónica creada por la interacción de los átomos de cobre con las partículas alfa. Estas partículas tienen poco alcance: en la Tierra, unos pocos centímetros. En Marte algo más, debido a la menor densidad de la atmósfera. Por ello, se acerca el instrumento, que está en el extremo de un brazo móvil, a la roca que se va a analizar.



“artist concept” del rover Curiosity. Se ve el brazo robótico plegado y al final de él un conjunto de instrumentos, que incluye el espectrómetro APXS.

Los fotones de rayos X emitidos por la muestra son recogidos por un chip especial de silicio, cubierto con una ventana de berilio, transparente a los rayos X pero opaca a otros tipos de luz, de modo que no haya interferencias.

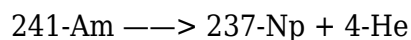


Retrato de familia de los rovers de exploración de Marte. De izquierda a derecha, el Spirit, el Sojourner y el Curiosity. En un círculo, la localización de los instrumentos APXS de cada uno de ellos.

De vuelta a la Tierra

Tengo un cliente, que es un experto mundialmente conocido en ejemplares minerales de alto nivel para museos y colecciones. Con él se planteaba una necesidad muy concreta: desarrollar un sistema que permita realizar un análisis de éstos ejemplares con tres condiciones: no destructivo, rápido y muy asequible. Así que mi idea fué trasladar la tecnología APXS de Marte a la Tierra.

La primera y quizá mayor dificultad es la fuente de rayos alfa. El curio utilizado en Marte no es un material asequible para fines “no gubernamentales”. Así que utilizamos una fuente de americio-241, mucho mas accesible:

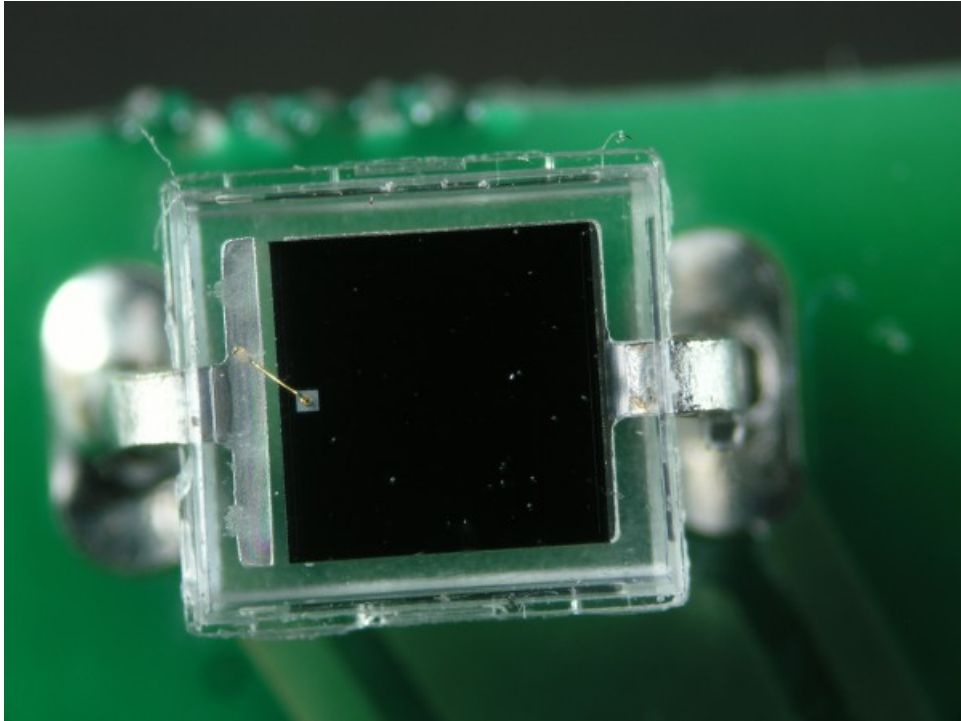


El americio se desintegra formando neptunio y un núcleo de helio-4 o partícula alfa, que sale disparada del material con una energía de 5.54 MeV, solo un poco inferior a la energía del curio, por lo que también es ideal para nuestros fines.



*Primera muestra de americio
(hidróxido de americio) de la Tierra:
obtenida en el laboratorio de Glenn
T. Seaborg en los años 40.*

Como detector podemos aplicar dos soluciones: un detector de centelleo, para aplicaciones que requieran mas sensibilidad pero con menos resolución y usando un fotodiodo tipo Si-PIN. Este componente es muy usual, ya que se usa en todo aparato que mida luz de alguna forma, desde instrumentos científicos hasta electrodomésticos.

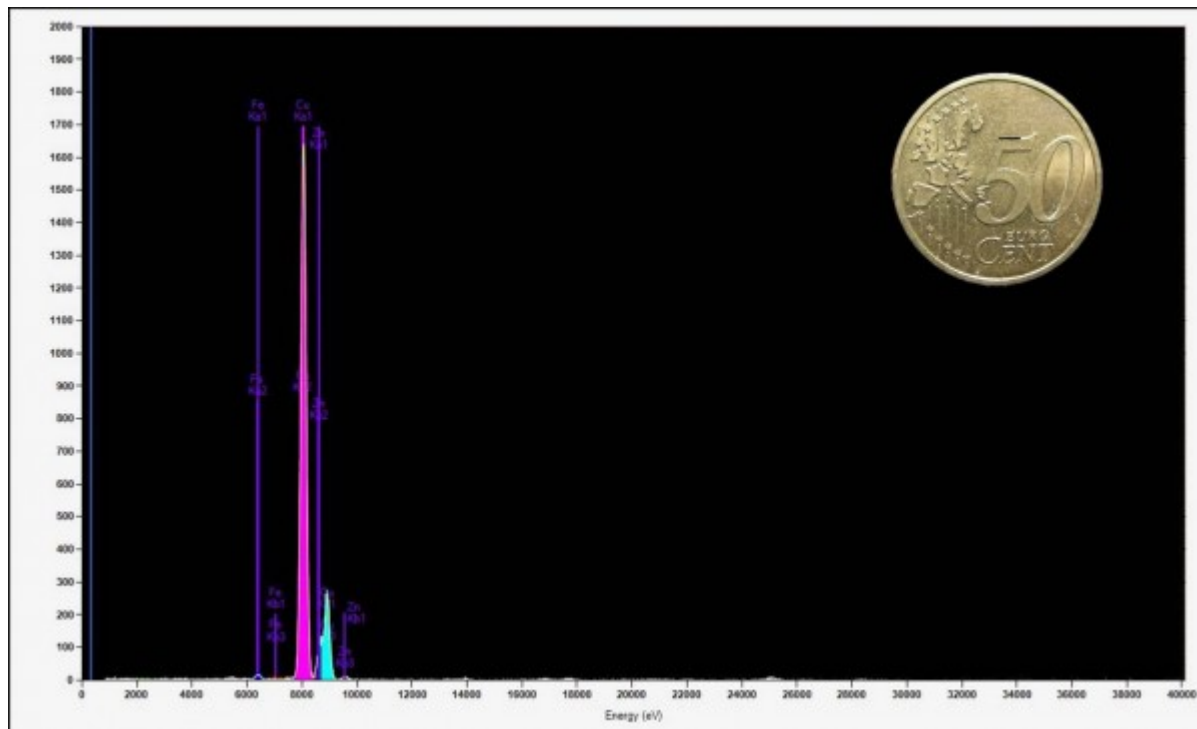


Este es el aspecto de mi primer detector tipo Si-PIN, en una versión didáctica del aparato. Tiene tres capas de silicio con características distintas, apiladas en una especie de “sandwich”. Son muy sensibles a la luz. Para medir los rayos X y poder usarse en análisis, el circuito es mas complejo: el chip de silicio esta vez no está encapsulado con plástico, sino cubierto de una membrana muy fina de berilio y se enfría a -40°C usando una célula Peltier, para reducir el ruido electrónico. El resultado del montaje final es éste:

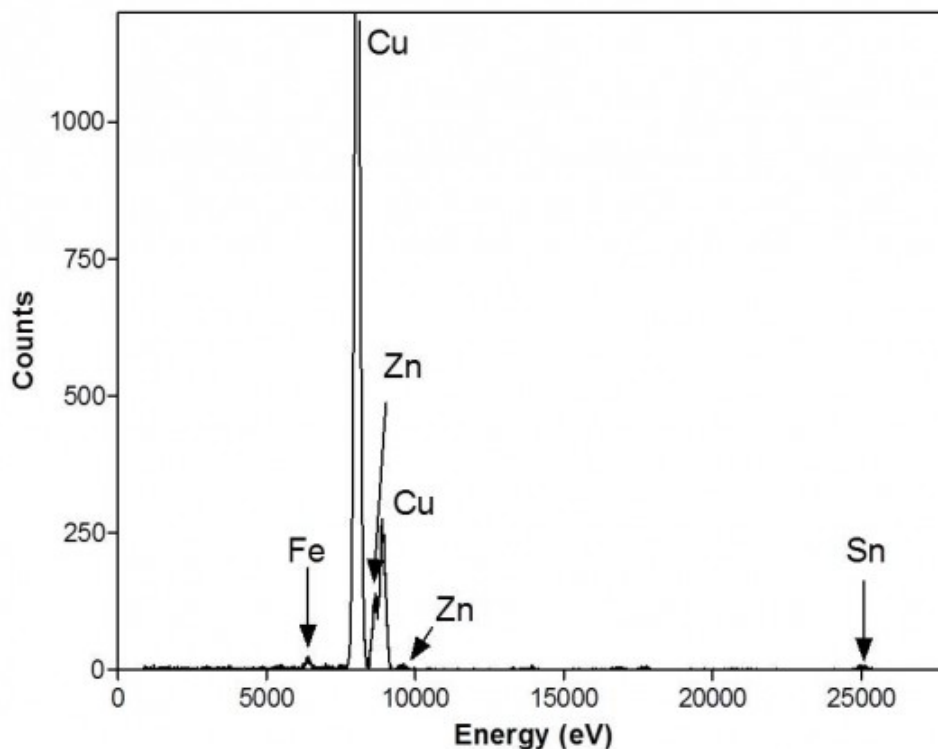


Este es el aspecto del (creo) primer instrumento APXS elaborado en España.

Y funciona!



Este es el espectro en bruto de una moneda de 50 céntimos. Se ve cobre, zinc y un poquito de hierro y estaño. Si refinamos el espectro:



Este es el resultado: la moneda de 50 céntimos de euro esta compuesta por un metal llamado **oro nórdico**. Nosotros encontramos la composición 92% de cobre, 6% de zinc, 1% de estaño y 1% de hierro. El oro nórdico contiene una pequeña cantidad de aluminio, pero está en la zona de baja sensibilidad y no es detectado, lo que induce un pequeño error en la composición total. Si calculamos teniendo en cuenta la presencia de aluminio no detectado, la composición es 90% Cu, 5% Zn, 1% Sn, 1% Fe y 3% Al, lo que se acerca mucho a la composición nominal del oro nórdico. El "oro nórdico" vale muy poco...de hecho el valor *real* del metal que compone la moneda es inferior a los 50 céntimos, lo cual nos llevaría a una interesante discusión sobre economía...

Y todo esto realizado con un instrumento que tiene un coste de entre 1/10 y 1/20 de un equipo de fluorescencia de rayos X comercial, con el consiguiente abaratamiento de coste por análisis.

Nuestro cliente estará contento...y todo gracias a la investigación de Marte y a la Tabla Periódica...

Esta entrada participa en la [XXXIII Edición del Carnaval de Química](#), cuyo blog anfitrión es [La Química en el siglo XXI](#)



CARNAVAL DE QUÍMICA
XXXIII EDICIÓN - MARZO DE 2014

ARSÉNICO
(Z=33)