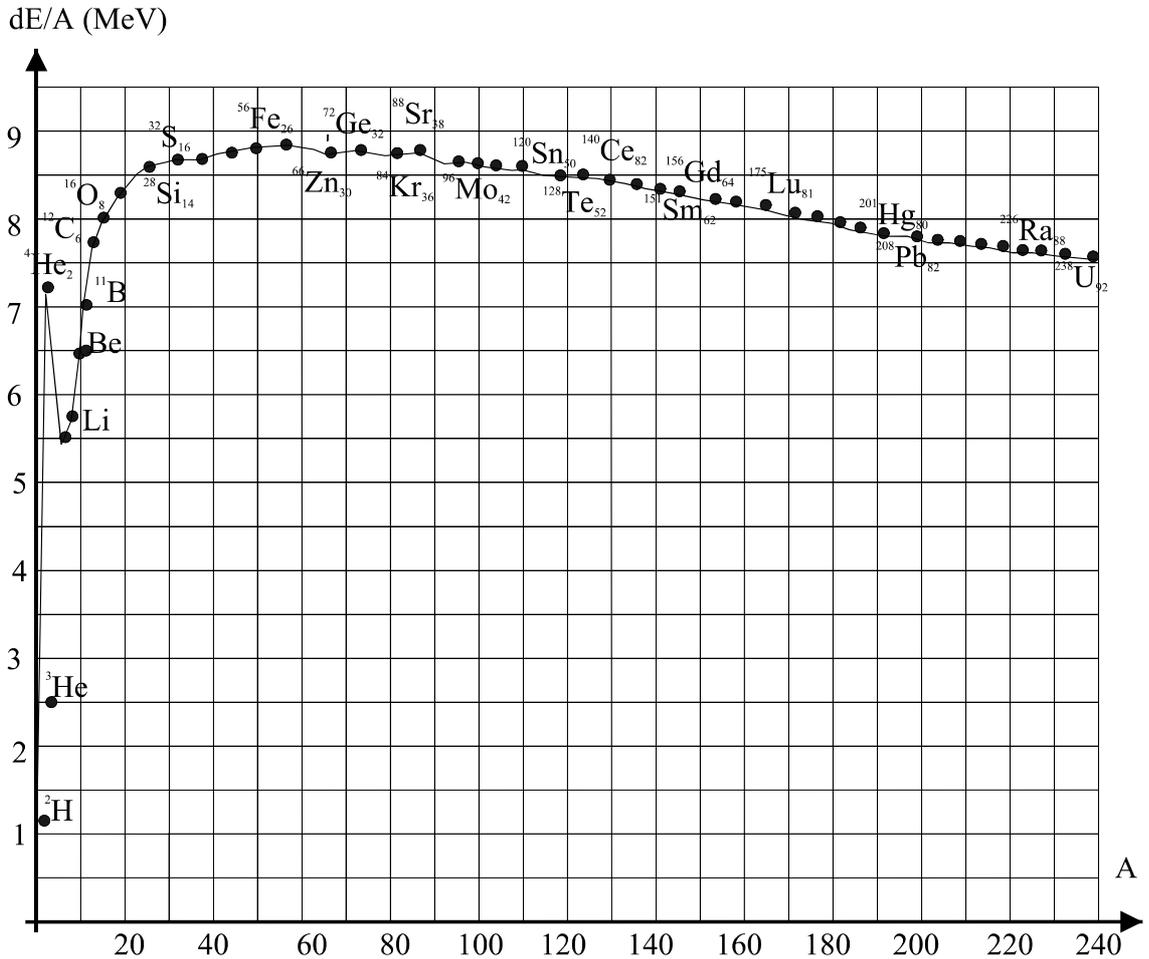


## LOS NUEVOS METALES (I)

¿Es posible el descubrimiento de nuevos metales?

La clave de la aparición de nuevos elementos estriba en tres puntos, la estabilidad nuclear, la mayor sensibilidad de los aparatos de detección y la creación de aceleradores más poderosos.

La estabilidad nuclear se puede medir energéticamente a través del modelo de la gota líquida para los núcleos atómicos. Efectivamente hay dos energías básicas, la electrostática que depende de la carga nuclear elevada al cuadrado ( $Z^2$ ), o sea del número de protones, y la debida a la tensión superficial que depende de la superficie, que aumentará cuando los núcleos sean mayores. Como la densidad nuclear se mantiene constante, las energías se pueden relacionar a través del radio (núcleos esféricos) con su masa atómica  $A$ , esto es con el número de protones y neutrones. Por todo ello, la energía electrostática aumenta mucho más rápidamente con  $Z$  y así, los núcleos ligeros tendrán tendencia a fusionarse, mientras que en los pesados ( $Z >$ ) cualquier deformación que separe las cargas disminuirá su energía electrostática, fisionándose en núcleos más pequeños. Basándose en todas esas interacciones, el físico alemán Weisäcker estableció en 1935, una fórmula que nos daba la energía de enlace nuclear por nucleón, cuya descripción gráfica tiene una fácil lectura; cuanto mayor sea la energía de enlace, más estable es el núcleo.



En ella se puede apreciar la zona de fusión, a la izquierda ( $A < 20$ ), y la posible de fisión en su extremo derecha. En la primera, los núcleos con menos energía se fusionarán para producir los de mayor ( $\text{He}$ ,  $\text{C}$ ,  $\text{O}$ ), mientras que en la segunda, núcleos con  $Z >$  y  $A >$ , y poca energía se fisionarán para producir otros más pequeños, tales como  $\text{Br}$  y  $\text{La}$ , de mayor; para ello deberán sobrepasar la barrera de fisión que en el  ${}^{238}\text{U}$ , es de unos 6 MeV. La liberación de esta energía es el origen de la energía nuclear en los procesos de fusión y de fisión.

Cuando un núcleo se encuentra más allá de la zona de estabilidad, puede descomponerse a través de dos procesos: por una desintegración alfa, o por una fisión espontánea. Vamos a estudiar cuando ocurre cada caso.

Como podemos apreciar en la gráfica anterior, la partícula  $\alpha$  ( $2n+2p$ ), o núcleo de  ${}^4\text{He}_2$ , tiene una gran estabilidad, y por ello los núcleos pesados se estabilizan emitiéndola. La desintegración  $\alpha$  es dominante para  $Z > 83$ , lo que ocurre en tanto la relación  $Z^2/A$ , no sea excesivamente grande. Si esta relación es mayor de 37 ( $Z > 92$ ), cabe esperar que se produzca una fisión espontánea con un período de semidesintegración de  $10^{10}$  años; prácticamente inapreciable, pero al acercarse a 42, los núcleos entran en la zona de fisión, y sólo un pequeño aporte de energía (la que podría proporcionarle un neutrón que se quede en el núcleo de uranio 235), producirá su fisión. Los productos de fisión deberán ser más estables, y estarán en la gráfica de Weisäcker, a la altura del  $A=60$ . Al acercarse la relación a 50, la fisión ya se hace espontánea, por eso el período de vida de estos elementos es tan pequeño<sup>1</sup>.

Desde 1947, se sabe que existen unas composiciones nucleares más estables que las demás, correspondiendo a posibles niveles nucleares completos. Independientemente, María Geoppert en Chicago y Hans Jensen en Heidelberg<sup>2</sup>, definieron la existencia de unos números de neutrones y protones (que llamaron números mágicos)<sup>3</sup>, tales que el núcleo que los tuviera en su composición era excepcionalmente estable. Estos números eran 2, 8, 20, 50, 82, 126, justificándose a través de la teoría de capas nucleares, propuesta por Bartlett, en 1932, complementada más tarde, por Aage Bohr<sup>4</sup>, que le dio el Nobel de Física de 1977; era hijo de Niels, que lo había obtenido en 1922. Sin embargo a partir de determinados valores no tenían por que coincidir el número de protones y neutrones, debiendo ser éste mucho mayor, y hubo que modificar los superiores. En el plomo 208, excepcionalmente estable el número de protones era 82, mientras que tenía 126 neutrones. Esta modificación trajo consigo la aparición de otros números mágicos, los de 114 y 164 protones.

Por lo tanto, se puede realizar un mapa de las diferentes regiones y estabilidades nucleares; una extensión de la carta de Segré, que Swiatecki llamó mapa de la estabilidad, en el cual en coordenadas  $n/p$  se aprecian las posibles zonas de elementos estables; emergiendo del mar de la inestabilidad como una península mágica que se prolongaría a partir del plomo 82, y surgiendo de dicho mar como escollos, o volcanes sumergidos, alguna isla.

El último elemento estable, el finisterre del continente estable, es el plomo, debido precisamente a su estructura en capas completas, este hecho incrementa su energía de enlace nuclear en 11MeV. Después, el primer elemento superpesado estabilizado ligeramente por las capas, es el 107. La barrera de fisión disminuye desde el uranio al fermio ( $Z=100$ ), de tal forma que a partir del elemento 100, es tan pequeña que la fisión sería espontánea, lo cual hará que la vida media de sus isótopos sea muy pequeña. Ninguno de los elementos entre el 107 y 109, sufre fisión espontánea, debido precisamente a la estabilidad de las capas, aunque por otra parte ésta disminuya al aumentar la masa. Por eso, las vidas medias que se suponía deberían decrecer exponencialmente al aumentar una unidad en el número atómico (cada unidad es como si se dividiera entre 10, el tiempo de vida del isótopo más estable), llega un momento que por compensación, se regularizan.

---

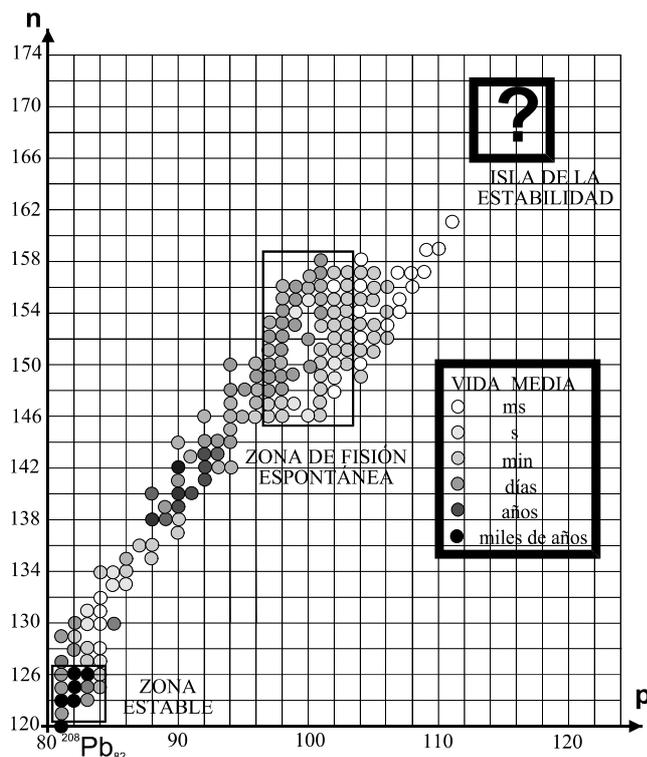
1 Sólo el uranio y el torio, se encuentran en la Tierra porque su período de semidesintegración es comparable a la edad del planeta. En México se encontraron rastros de Plutonio, pero pudo ser a través de un transporte accidental.

2 Habían nacido el mismo día y el mismo año, cuando se enteraron, se hicieron muy amigos.

3 Por ese motivo recibieron el Nobel de Física, siendo María la segunda mujer en recibirlo.

4 La dinastía científica de los Bohr, comienza con el padre de Niels, Cristian famoso médico y fisiólogo, cuyo nombre se recuerda a través de Efecto Bohr, que estudia el papel de la acidez del medio en la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno. Aage nace el mismo año que le concedieron el Nobel a Niels, pero mientras aquél conservó la medalla conmemorativa, éste la disolvió en ácido, desengañado con la política y los políticos.

Las correcciones por la estabilidad de la capa pueden ser tan grandes que la vida media de los elementos 106 al 108, aumenta excepcionalmente. Los elementos a partir del 104, que ya casi no sufren fisión espontánea, se estabilizan por emisión  $\alpha$ , lo cual es una consecuencia de la estabilidad de las capas. Si tenemos en cuenta todas estas correcciones, se prevé una región relativamente estable, lo que Seaborg llamó “isla de la estabilidad”, entre los elementos 110 y 126, englobando a unos posibles 300 isótopos, con barreras de fisión que impiden la fisión espontánea, y con la estabilidad debida a la capa completa, que tendría sus máximos en los elementos 114 y 115, (siempre con más de 166 neutrones). Además estos núcleos se presentan como esféricos, lo cual les confiere también estabilidad.



El estudio de las estabilidades nucleares predice que éstas serían más acusadas en los elementos de número atómico 50 (Sn), 82 (Pb), 114 (sería un **EKA PLOMO**) y 164 (sería un **DWI PLOMO**). Incluso el **EKA PLATINO**, 110, debería ser ligeramente más estable, y efectivamente la vida media de algunos de sus isótopos es mayor de lo esperado. Seaborg ha determinado las islas de estabilidad situadas en coordenadas específicas protón/neutrón, de la gráfica expuesta. De todas estas posibles islas, sólo los 113 y 114 dejarían de ser **TRANSLAURENCIOS** puros, para convertirse en elementos p.

Ya han sido estudiadas por Seaborg y Keller las propiedades teóricas no sólo del 114, sino incluso del 113 (**EKA TALIO**) y 115 (**EKA BISMUTO**). Siguiendo las periodicidades de la ley de Mendeléev, serían para los elementos 113 y 114, todavía desconocidos las siguientes:

PROPIEDADES	EKA TALIO (Z=113)	EKA PLOMO (Z=114)
Masa atómica del isótopo más estable	297	298
Estado de oxidación más estable	1+	2+
1ª Energía de ionización (V)	7,4	8,5
Radio metálico	1,75D	1,85D
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	16	14
Punto de fusión	430°C	70°C
Punto de ebullición	1100°C	150°C

A todo esto se había producido un cambio en la técnica de síntesis de nuevos elementos, que coincide con la puesta en marcha de dos nuevos centros de investigación, el de Darmstadt, con su acelerador UNILAC (acelerador lineal universal) en Alemania y otro en Estados Unidos, en Oak Ridge. Es evidente que los núcleos al recibir partículas con gran energía, la disipan girando a gran velocidad; este giro, según el modelo nuclear de la gota líquida, modifica la forma del elipsoide, hasta formar un cuello que permite llegar a fisionarse, no logrando el propósito de obtener un núcleo más pesado. Sin embargo si se parte de núcleos muy estables y esféricos como blancos y se les bombardea con iones pesados más o menos estables, la pérdida de estabilidad absorbe tal cantidad de energía que enfría el proceso, lo que impide la excitación y por lo tanto, una ulterior fisión; es una fusión fría. Esta idea propuesta por Yuri Oganessian, de Dubna, va a

emplear blancos mucho más ligeros y estables, como el plomo o el bismuto, y proyectiles más pesados, como los iones cromo, manganeso y hierro. Así mismo se elabora un acuerdo por el cual no se bautizará a ningún nuevo elemento que se descubra. Su número atómico y su masa, será su única identificación.

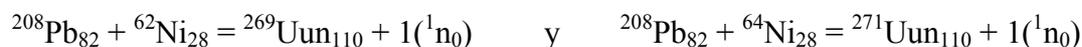
Sin embargo había otro problema; la identificación. En los procesos empleados, ya sea de fusión fría, ya de fusión y evaporación, se producen una serie de isótopos con una vida muy pequeña, apenas apreciable que había que separar para identificar, y había que emplear espectrógrafos especiales. En Dubna se sigue el método de estudiar las huellas de los procesos sucesivos de desintegración de cada elemento reconstruyendo la cadena marcha atrás hasta alcanzar el original, combinado con lo que llamaron termocromatografía gaseosa, que puso en marcha el profesor checo Zvara, mientras que en Darmstadt, Münzenberg crea el SHIP, separador de productos de iones pesados, basado en un selector de velocidades de retroceso de los productos de la colisión. Este procedimiento es capaz de detectar isótopos con vidas del orden del microsegundo.

### ¿Cómo alcanzar la isla de la estabilidad?

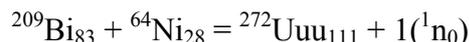
Lo más lógico sería seguir empleando el procedimiento de fusión fría y usando los mismos blancos que para los elementos anteriores pero con proyectiles más pesados, con la idea de que el exceso de neutrones liberados, enfriase el núcleo formado<sup>5</sup>. El proyectil más empleado era el milagroso <sup>48</sup>Ca<sub>20</sub>, muy rico en neutrones, característico de la escuela rusa.

La fusión fría había cumplido su objetivo, hasta el elemento 111. En 1979, Schmidt, demostró que los núcleos pesados esféricos por estabilidad de capas, se podían destruir con energías del orden de 15MeV, mucho antes que los deformados, que aguantaban hasta 30 y 40 MeV. Con esta idea se cambiaron los sistemas; no era bueno partir del Plomo o del Bismuto como blancos. La reacción teóricamente más adecuada era la que tenía lugar entre Curio<sub>248</sub> y Ca<sub>40</sub>. Una combinación tan asimétrica tenía el inconveniente de producir un gran calentamiento y pérdidas elevadas de energía. Por otra parte, la energía necesaria para el impulso era tan grande que los núcleos excitados, se rompían antes de formarse; la isla de la estabilidad era mucho más pequeña de lo previsto, y en la práctica aunque en Dubna se consiguiera el elemento 110, a partir de Pu<sub>244</sub>, el hecho real es que los últimos, el 111 y el 112, aislados en Darmstadt, se lograron con blancos de Pb 208.

Los tres equipos que se reparten las investigaciones sobre los nuevos metales, que inicialmente siguen técnicas distintas, son el de Darmstadt, que ganaba por puntos, dado que había descubierto los últimos elementos. Así, el equipo de Armbruster, Münzenberg y Hofmann, trabajando en el GSI (instituto para la investigación de iones pesados), en noviembre y diciembre de 1994, logra detectar los elementos 110 y 111. Lo consiguen, bombardeando al estilo Dubna, blancos de plomo o de bismuto con proyectiles de níquel acelerados por el UNILAC, así:



En el primer caso, detectan un átomo del isótopo 269, y en el segundo nueve del 271, siempre de ununnilio (110)<sup>6</sup>. En un experimento adicional, detectan 3 átomos del elemento 111 en una fusión fría estable entre el bismuto 209 y el níquel 64, así:

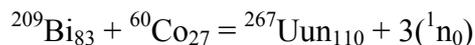


Estos isótopos presentan una vida media de 0,17ms, en el caso del 110, y 1,5 ms para el 111, con emisión alfa de gran energía. El ununilio (111), se desintegra en Meitnerio 268, emitiendo partículas alfa. Son muy pocos los núcleos detectados del elemento unilunio, incluso en 2002, solo se consiguieron 3.

<sup>5</sup> Estos neutrones rápidos que se producen en dichas reacciones, son el cáncer de todas las centrales nucleares, pues se introducen en las estructuras metálicas, los materiales se ahuecan y se hinchan, y las aleaciones se vuelven frágiles y pierden toda su resistencia mecánica.

<sup>6</sup> Un=1, un=1, nil=0, terminación ium, por composición (110) hace ununnilium, que es castellano sería ununnilio.

En Dubna, 8 años antes de haber intentado obtener el elemento 110, en una fusión fría, bombardeando  $^{209}\text{Bi}_{83}$ , con  $^{60}\text{Co}_{27}$ , sin conseguir detectarlo. En mayo de 1994, el equipo norteamericano de Ghiorso, en Berkeley detecta un átomo del elemento 110, cuando bombardea bismuto con cobalto, según la reacción:



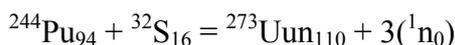
Pero este descubrimiento no fue atribuido a dicho equipo.

Los procesos de obtención del Uun por fusión fría se pueden resumir en la tabla:

Blanco	Proyectil	Productos	
$^{208}\text{Pb}_{82}$	$^{62}\text{Ni}_{28}$	$^{269}\text{Uun}_{110}$	$^1_0\text{n}_0$
$^{208}\text{Pb}_{82}$	$^{64}\text{Ni}_{28}$	$^{271}\text{Uun}_{110}$	$^1_0\text{n}_0$

Estos procesos fueron comprobados posteriormente en un trabajo conjunto firmado por los equipos de Darmstadt y Berkeley

El equipo ruso que “juega en Dubna”, Popeko y Yeremin en colaboración con los físicos del Lawrence Livermore National Laboratory de Estados Unidos, también logran producir el elemento 110 a través de un proceso de fusión en caliente con evaporación:



Como se observa el sistema es distinto. Vamos a resumir los procesos de obtención de este elemento por fusión en caliente con evaporación, alguno de los cuales no permitieron la captura e identificación de dicho elemento

Blanco	Proyectil	Productos	
$^{244}\text{Pu}_{94}$	$^{36}\text{S}_{16}$	$^{278}\text{Uun}_{110}$	$2(^1_0\text{n}_0)$
$^{244}\text{Pu}_{94}$	$^{32}\text{S}_{16}$	$^{273}\text{Uun}_{110}$	$3(^1_0\text{n}_0)$
$^{232}\text{Th}_{90}$	$^{48}\text{Ca}_{20}$	$^{280}\text{Uun}_{110}$	Fallan al no producirse neutrones que enfríen el sistema
$^{238}\text{U}_{92}$	$^{40}\text{Ar}_{18}$	$^{278}\text{Uun}_{110}$	
$^{248}\text{Cm}_{96}$	$^{30}\text{Si}_{14}$	$^{278}\text{Uun}_{110}$	
$^{249}\text{Cf}_{98}$	$^{26}\text{Mg}_{12}$	$^{275}\text{Uun}_{110}$	

La IUPAC, atribuyó al equipo de Darmstadt el descubrimiento, y éste propuso dos nombres para dicho elemento: el Darmstadtio (por la ciudad donde se descubrió) y el Wixhausio, por el barrio donde está situado el laboratorio. Fue aprobado el primero, el 16 de agosto de 2003, por eso el símbolo pasó a ser de Uun a Ds.

Actualmente se ha obtenido directamente este elemento a través de estos dos procesos

Blanco	Proyectil	Productos		
$^{207}\text{Pb}_{82}$	$^{64}\text{Ni}_{28}$	$^{270}\text{Ds}_{110}$	$^1_0\text{n}_0$	En el GSI(Darmstadt)
$^{238}\text{U}_{92}$	$^{40}\text{Ar}_{18}$	$^{274}\text{Ds}_{110}$	$4(^1_0\text{n}_0)$	En el HIRFL de Lanzhou(China)

El ununio (111), también fue atribuido al equipo alemán, que desarrollaba la fusión fría, y aceptado por la IUPAC, el 1 de noviembre de 2004, el nombre propuesto por ellos; Roentgenio, con símbolo Rg, en honor al Röntgen, descubridor de los rayos X, y primer premio Nobel de Física.

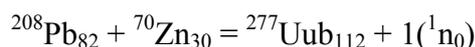
Los procesos desarrollados con el sistema de fusión fría, se señalan en la tabla:

Blanco	Proyectil	Productos
$^{208}\text{Pb}_{82}$	$^{65}\text{Cu}_{29}$	$^{273}\text{Uuu}_{111}$
$^{209}\text{Bi}_{83}$	$^{64}\text{Ni}_{28}$	$^{273}\text{Uuu}_{111}$
$^{209}\text{Bi}_{83}$	$^{70}\text{Zn}_{30}$	$^{274}\text{Rg}_{111}$ $5(^1n_0)$ (en 2004)

También se intentó obtener posteriormente por fusión caliente con evaporación, según los procesos indicados en la tabla, sin éxito.

Blanco	Proyectil	Productos	fecha
$^{244}\text{Pu}_{94}$	$^{37}\text{Cl}_{17}$	$^{281}\text{Uuu}_{111}$	Reacción sin éxito.
$^{231}\text{Pa}_{91}$	$^{48}\text{Ca}_{20}$	$^{279}\text{Uuu}_{111}$	No se producen neutrones que enfríen la reacción
$^{232}\text{Th}_{90}$	$^{45}\text{Sc}_{20}$	$^{277}\text{Uuu}_{111}$	
$^{238}\text{U}_{92}$	$^{41}\text{K}_{19}$	$^{280}\text{Uuu}_{111}$	
$^{248}\text{Cm}_{96}$	$^{31}\text{P}_{15}$	$^{279}\text{Uuu}_{111}$	
$^{249}\text{Cf}_{98}$	$^{27}\text{Al}_{13}$	$^{276}\text{Uuu}_{111}$	
Posteriormente se obtuvo en la cadena de desintegración de elementos de mayor masa atómica, formados por fusión en caliente.			

El nueve de febrero de 1996, y a las 22,37h, Hofmann, Ninov y Hesberger, del GSI, consigue el elemento 112 (ununbio), bombardeando blancos de plomo con proyectiles de cinc con energías de hasta 343, 8MeV, según el siguiente proceso:



El futuro se empieza a hacer presente a partir de la primavera del 1998, cuando en Dubna, bajo la dirección de Yuri Oganessian, se sustituye el Zn empleado como proyectil en la fusión del elemento 112 por el  $^{48}\text{Ca}$  y el blanco de Plomo por el  $^{238}\text{U}$ , obteniéndose el isótopo de número másico 283 del elemento 112, con la especial característica que su vida media era trescientas mil veces mayor que la del isótopo 277 sintetizado por Hoffman en Darmstadt. La clave había sido conseguir una “evaporación neutrónica” que enfriaba el proceso, consiguiendo estabilizarlo. Se había conseguida una buena sección eficaz de captura y ello aumentaba la rentabilidad del proceso y se estaba alcanzando la isla de la estabilidad, a través del mar de la inestabilidad.

Los procesos de fusión en caliente que dieron lugar a este elemento fueron los siguientes

Blanco	Proyectil	Productos	fecha
$^{238}\text{U}_{92}$	$^{48}\text{Ca}_{20}$	$^{283}\text{Uub}_{112}$ $3(^1n_0)$	1998
$^{244}\text{Pu}_{93}$	$^{48}\text{Ca}_{20}$	$^{285}\text{Uub}_{112}$ $3(^1n_0)$	1999
$^{244}\text{Pu}_{93}$	$^{48}\text{Ca}_{20}$	$^{284}\text{Uub}_{112}$ $4(^1n_0)$	2002
$^{238}\text{U}_{92}$	$^{48}\text{Ca}_{20}$	$^{282}\text{Uub}_{112}$ $4(^1n_0)$	2004

Sin embargo aunque atribuido al GSI, por la IUPAC, no fue homologado completamente hasta el 19 de febrero de 2010, 537 aniversario del nacimiento de Copérnico, con nombre Copernicio y símbolo Cn. El por qué es bien sencillo. Hofmann, el director del equipo alemán, había propuesto varios nombres basados en Copérnico: “Copernicum”, “Coperium”, “Kopernikium”, “Copernicium”, siguiendo las normas de la IUPAC, del sufijo ium. Así el 14 de julio de 2009, la IUPAC, homologa el Copernicium, con símbolo Cp. Pero el problema surge en los textos, por que Cp, era el símbolo atribuido al Casiopeo o Lutecio, y también usado en química orgánica para abreviar el ciclopentadieno. Por eso hubo que cambiar el símbolo a Cn, y sólo fue homologado más tarde.

