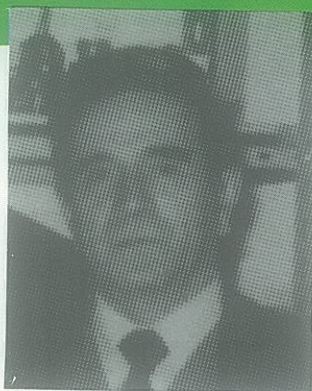




León GARZON RUIPEREZ es licenciado en Ciencias Físico-Químicas, con premio extraordinario. Doctor en Ciencias Químicas, catedrático de Energía Nuclear de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de la Universidad de Oviedo. Medalla de Física de la Real Sociedad Española de Física y Química (1977). Es autor de unos cien trabajos de investigación.

LA PROBLEMÁTICA DE LOS ACTINIDOS

NUEVOS ASPECTOS DE LA LEY PERIÓDICA

L. GARZON RUIPEREZ

RESUMEN DEL TRABAJO ANTERIOR Y OBJETO DE ESTE

En un trabajo anterior (1) publicado en el número 57 de esta misma Revista establecimos una estructura fenoménica de la ley periódica dada por las siguientes relaciones:

$$P = A(-1 + mZ - nZ^2) \text{ ó}$$

$$P = A(1 - mZ + nZ^2)$$

$$m = 2 Z_c^{-1}$$

$$n = Z_c^{-2}$$

$$Z_c = (Z_i + Z_f) / 2,$$

siendo P el valor de una propiedad (que se ajusta a la primera o segunda de las expresiones correspondientes, según sea el signo de la concavidad) y Z el número atómico, cuyo intervalo de variación se halla comprendido entre los elementos inicial ($Z = Z_i$) y final ($Z = Z_f$) del bloque que se considere dentro de cada período. (ER, elementos representativos y gases inertes; ET, elementos de transición; EL, lantánidos, y EA, actínidos.)

El objeto de este trabajo es el estudio del comportamiento de las funciones de correlación para los actínidos en relación con el de los demás bloques de elementos, lo que, junto con el de los estados de oxidación, nos ha permitido sugerir una nueva estructuración del 7.º período.

ANTECEDENTES

Hasta 1940 los únicos elementos conocidos pertenecientes al 7.º período eran, en orden creciente de números atómicos, los siguientes: Fr (identificado en 1940), Ra, Ac, Th, Pa y U. Los dos primeros se situaron, sin ambigüedad, en los grupos IA y IIA, respectivamente. Bohr situó los siguientes elementos inmediatamente debajo del La, Hf, Ta y W, respectivamente, lo que equivalía a considerarlos químicamente análogos a los de la tercera serie de transición (elementos d). La tabla periódica de Bohr muestra esta disposición. Como consecuencia del proyecto Manhattan, el año 1940 fue pródigo en la síntesis e identificación de elementos con valores de Z superiores a 92. Si se aceptaba la hipótesis de Bohr, el Np ($Z = 93$) y el Pu ($Z = 94$) deberían ser análogos, químicamente, al Re y Os, respectivamente (véase figura I). Sin embargo, los ensayos químicos pusieron de manifiesto que el Np y el Pu eran mucho más semejantes al U que al Re y Os.

Durante algunos años el U, Np y Pu se consideraron como elementos análogos, sugiriéndose que los todavía no sintetizados, el 95 y 96, formarían con aquéllos una serie que, por estar emparentada y comenzar con el U, recibió el nombre de serie de los uránidos. Cuando se pudo constatar, una vez aislados, que los estados de oxidación de los citados elementos 95 y 96 diferían notablemente de los de los elementos anteriores y eran iguales a los

incertidumbres, la mencionada hipótesis tropezaría con una dificultad de principio. Aparte de ésta, existen otras que se remontan a la época de Bohr, quien sugirió, según señalábamos en la sección anterior, que los primeros elementos de la serie de los hoy llamados actínidos eran elementos análogos a los de la tercera serie de transición (y, por tanto, a la de las dos anteriores). Dichas dificultades se refieren, por una parte, a que mientras los lantánidos constituyen una serie de elementos de características muy parecidas, no ocurre lo mismo con los elementos que siguen al actinio (así, el Th no se parece al Ac; el U ni al Pa situado a su izquierda en la tabla periódica ni al Np que está situado a su derecha; y análogamente los elementos siguientes al Np, Pu, Am y Cm no se parecen entre sí). Estas consideraciones, de tipo cualitativo, se pueden poner de manifiesto cuantitativamente comparando los estados de oxidación de ambas series. Por nuestra parte hemos encontrado que las funciones de correlación para una serie de propiedades, aparte de satisfacer la estructura de la periodicidad —expresiones (1)—, son análogas a las correspondientes de los elementos de la tercera serie de transición (y, por tanto, a la de las otras series del mismo tipo) y difieren totalmente de las correspondientes a los lantánidos. Consideraremos primeramente los resultados obtenidos por nosotros y, a continuación, discutiremos la cuestión de los estados de oxidación.

LOS RESULTADOS

A partir de los valores de algunas propiedades para los actínidos (3, 4, 5) hemos obtenido las correspondientes

funciones de correlación, las cuales muestran las siguientes características:

- No existe paralelismo entre las correspondientes a los lantánidos y actínidos (al menos para las propiedades estudiadas).

- Existe, sin embargo, un paralelismo entre las funciones para los actínidos y los elementos de transición (al menos para las propiedades estudiadas).

Vamos a ilustrar cada una de las rúbricas anteriores. Previamente es pertinente señalar que para estos elementos no son abundantes o no existen datos disponibles para varias de las propiedades estudiadas. En algunos casos dichos valores no coinciden para las diferentes fuentes que nos ha sido dable consultar (3, 4). Debido a estos inconvenientes sólo nos ha sido posible estudiar cuatro propiedades: T_e , d , RA y V_a .

Que no existe paralelismo entre las variaciones de los valores de las propiedades mencionadas para los lantánidos y actínidos se muestra, de una manera que no deja lugar a dudas, comparando las representaciones gráficas para cada una de aquellas propiedades y ambas series. A título de ejemplo, en la figura IV hemos incluido la función cuadrática para la densidad y las mencionadas series.

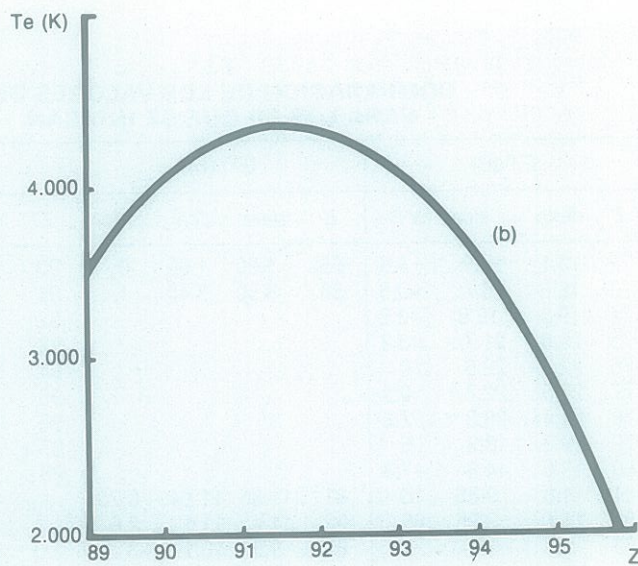
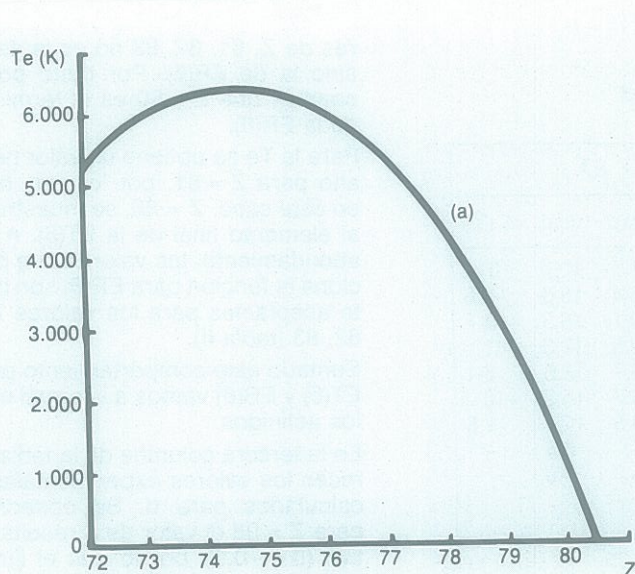
En este apartado vamos a demostrar que existe, para las propiedades citadas, un paralelismo entre las correspondientes funciones para los elementos de transición y los actínidos, que nos va a permitir, además, situar el elemento final de éstos. La primera cuestión resulta evidente con sólo contemplar las representaciones gráficas correspondientes. A título de ejemplo en las figuras V, VI y VII se muestran

las funciones P para las propiedades que se indican y las series que se comparan.

Con objeto de situar el elemento final de la serie de los actínidos, en cuanto paralela a la de los elementos de transición ET (6), hemos procedido de la forma que se describe a continuación. Para ello, afortunadamente, disponemos de dos propiedades muy adecuadas para nuestro objetivo: la densidad, d y el punto de ebullición, T_e . Recordemos que ambas propiedades poseen una concavidad negativa, por lo que sus valores aumentan con Z hasta alcanzar un valor máximo, a partir del cual disminuyen, siendo inadmisibles si se extrapolan más allá del $Z = Z_1$ del subperíodo considerado, que tomen valores negativos, ya que éstos carecen de significado. Para el 6.º período conocemos bien las funciones P para los bloques (s p y d); este último, como es sabido, corresponde al subperíodo ET(6); aquél al ER(6).

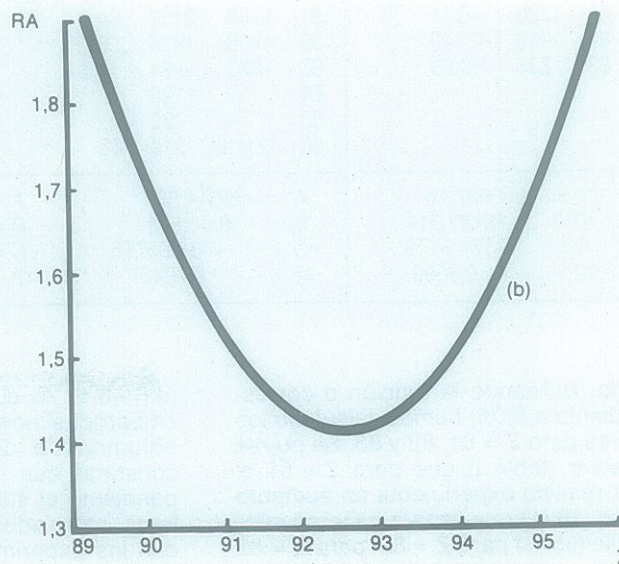
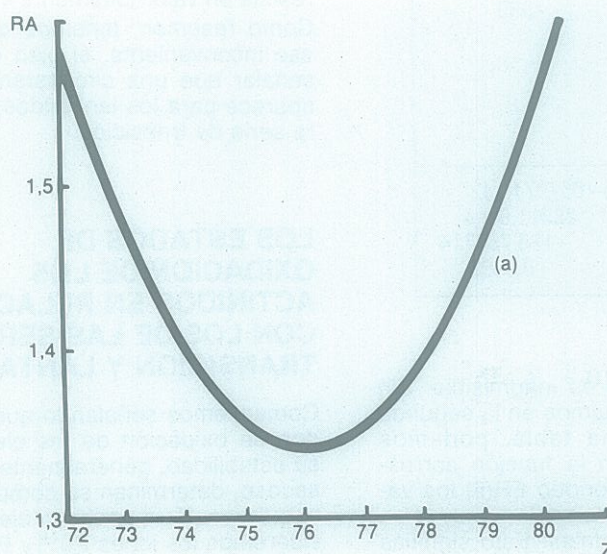
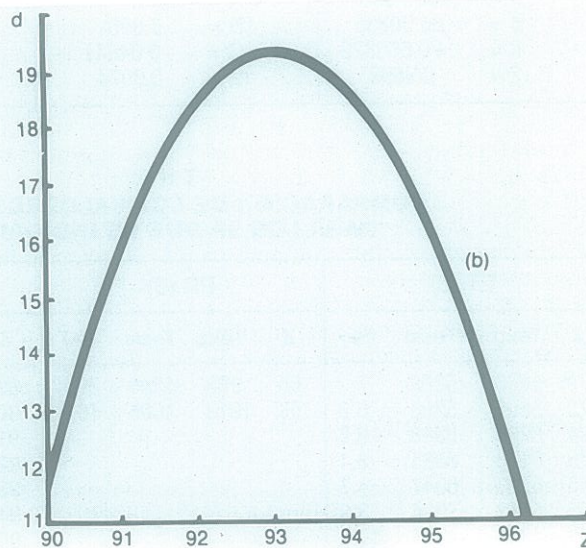
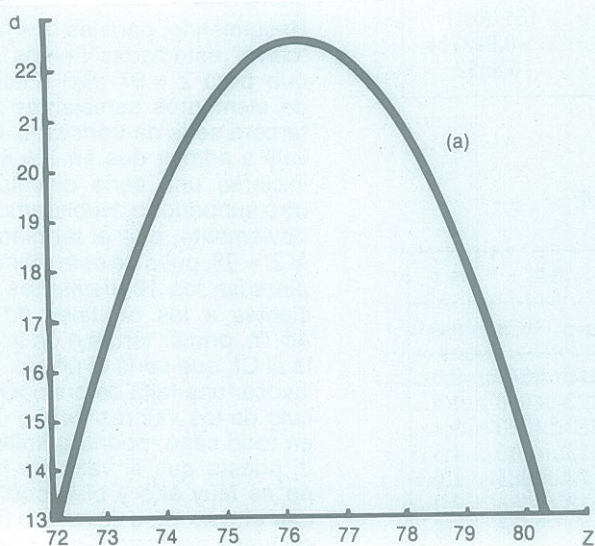
Los valores de d y T_e se han calculado a partir de las correspondientes funciones para los ER(6) ET(6) y EA. En las tablas I y II se muestran todos los datos cuya discusión se hace seguidamente.

Consideremos en primer lugar el comportamiento de los subperíodos ET(6) y ER(6). Obviamente, la función para el primero se ha obtenido a partir de los datos correspondientes a los elementos comprendidos desde el Hf ($Z = 72$) al Hg ($Z = 80$



F V Comparación de la temperatura de ebullición, a) para los elementos de la tercera serie de transición y b) para los elementos actínidos. Nótese la gran analogía entre ambos tipos de curvas

F VI Comparación de la densidad, a) para los elementos de la tercera serie de transición y b) para los elementos actínidos. Nótese la analogía entre ambos tipos de curvas



F VII Comparación del radio atómico, a) para los elementos de la tercera serie de transición y b) para los elementos actínidos. Nótese la analogía entre ambos tipos de curvas

T I
COMPARACION DE LOS VALORES DE d
PARA LOS SP QUE SE INDICAN

ET (6)				ER (6)				EA			
Z	dexp	dcal	Δ (%)	Z	dexp	dcal	Δ (%)	Z	dexp	dcal	Δ (%)
72	13.1	12.5	4.6	55	1.90	1.90	0	90	11.7	11.7	0
73	16.6	16.7	-0.6	56	3.50	3.45	1.4	91	15.4	15.8	-2.6
74	19.3	19.8	-2.6					92	19.1	18.3	3.7
75	21.0	21.7	-3.3					93	19.5	19.3	1
76	22.6	22.6	0					94	19.7	18.5	6.1
77	22.5	22.3	0.9					95	13.7	16.2	-18
78	21.4	20.8	2.8					96	13.5	12.5	9.6
79	19.3	18.3	5					97	-	6.6	-
80	13.6	14.6	-7.3					98	-	-6	-
81	11.8	9.86	16	81	11.85	11.94	-0.75				
82	11.4	3.95	65	82	11.4	11.1	2.6				
83	9.8	-3.1	-	83	9.8	10.1	-3				
				84	9.2	9.1	1				
				85	-	7.9	-				
				86	-	6.7	-				
A = -3236.763				A = -226.1				A = -7022.9			
B = 85.50835				B = 6.698				B = 151.351			
C = -0.560822				C = -0.04641				C = -0.813214			
r2 = 0.9659				r2 = 0							

	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn
8 ⁺									
7 ⁺				○					
6 ⁺			○	○	○				
5 ⁺		○	○	○		○			
4 ⁺	●	●	○	○	○	○	○		
3 ⁺	○	○	●	○	●	○	○	○	
2 ⁺	○	○	○	●	○	●	●	●	●
1 ⁺		○	○	○	○	○	○	○	

	40	41	42	43	44	45	46	47	48
	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd
8 ⁺					○				
7 ⁺				○	○				
6 ⁺			●	●	○	○			
5 ⁺		●	○	○	○	○			
4 ⁺	●	○	○	○	○	○	○		
3 ⁺	○	○	○	○	●	●		○	
2 ⁺	○	○	○	○	○	○	●	○	●
1 ⁺	○	○	○	○	○	○	○	●	

	72	73	74	75	76	77	78	79	80
	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg
8 ⁺					○				
7 ⁺				●	○				
6 ⁺			●	○	○	○	○		
5 ⁺		●	○	○	○	○	○	○	
4 ⁺	●	○	○	○	●	●	●		
3 ⁺	○		○	○	○	○	○	●	
2 ⁺		○	○	○	○	○	○	○	●
1 ⁺	○	○	○	○		○	○	○	○

6.º completos (con la excepción de los lantánidos) y parte del 7.º, faltando aún por demostrar su validez general, incluso para el hipotético 8.º período. El autor ha demostrado que dicha estructura es general y utilizaremos ahora este resultado para encontrar un nuevo apoyo a nuestra tesis.

Aplicaremos a continuación las expresiones (1) $m = 2Z_c$ y $n = 1/Z_c^2$ para el caso de la serie considerada y compararemos los valores de m y de n con los obtenidos directamente a partir de las funciones de correlación.

A partir de los valores $Z_i = 89$ y $Z_f = 97$, resulta el siguiente valor de Z_c :

$$Z_c = (89 + 97) / 2 = 93,$$

a partir del cual se obtiene:

$$m = 0.0215; n = 1.156 \cdot 10^{-4}$$

Los valores obtenidos directamente (véase tabla VI) son:

$$m = 0.0216; n = 1.18 \cdot 10^{-4}$$

La concordancia entre ellos es pues muy satisfactoria.

LA NUEVA ESTRUCTURACION DEL 7º PERIODO

Los resultados encontrados por el autor, caso de que se confirmaran y ampliaran a otras propiedades cuyo comportamiento fuese también análogo al de las series de transición, indicarían que siguen existiendo incertidumbres en la estructuración del 7.º período. A este respecto, es pertinente señalar que la inmensa mayoría de los tratados de Química Inorgánica dan por sentado que los actínidos y lantánidos constituyen series análogas. Tan sólo algunas publicaciones soviéticas (7,8) llaman la atención acerca de que dicha analogía no es, ni mucho menos, evidente. En el supuesto de que quedaran plenamente establecidas las analogías a que acabamos de referirnos, habría que tratar de establecer una nueva estructuración de dicho período que fuese coherente con los hechos experimentales. A pesar de que los resultados del autor se pueden considerar provisionales, el hecho de que se vean apoyados por los estados de oxidación, que gozan de un carácter definitivo, le autorizan, en cierto modo, a establecer una nueva estructuración del 7.º período.

En una sección anterior demostrábamos que los actínidos desde el Ac-Th al Bk constituyen una serie análoga a la de los elementos de transición. La incertidumbre en el comienzo de dicha serie se debe a que no existen datos

FIX Comparación entre los estados de oxidación para los elementos de la tercera serie de transición, los actínidos y los lantánidos

	72	73	74	75	76	77	78	79	80
	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg
8+					○				
7+				●	○				
6+			●	○	○	○	○		
5+		●	○	○	○	○	○	○	
4+	●	○	○	○	●	●	●		
3+	○		○	○	○	○	○	●	
2+		○	○	○	○	○	○	○	●
1+	○	○	○	○		○	○	○	○

||
||
||

para el Ac y todas las propiedades estudiadas. En cuanto al término final señalábamos que, con objeto de completar los orbitales d, estaría probablemente situado un lugar más allá, en el Cf ($Z = 98$). Nótese que, una vez admitida la existencia de la cuarta serie de transición, el resto de los elementos del 7.º periodo debe situarse probablemente en los siguientes orbitales disponibles, que son los f y los p. Como la energía de los primeros es significativamente inferior a la de los segundos, se situarán en primer lugar los elementos que siguen al Cf, desde el Es ($Z = 99$) al 112, ya que se necesitan 14 electrones para saturar los orbitales 5f, y a continuación, en los orbitales p, los comprendidos entre 113 y 118, ambos inclusive. Por consiguiente, los 14 elementos citados deben constituir, en cuanto ocuparían los orbitales 5f, una serie análoga a la de los lantánidos. El autor propone la denominación de einsténidos para esta serie de elementos 5f.

Las modificaciones introducidas alteran la posición, dentro del 7.º periodo, de los bloques d y f, manteniéndose la de los s y p, por lo que el Fr, Ra y los elementos comprendidos entre el 113(ekaTl) y el 118(ekaRn), ambos inclusive, ocupan las mismas posiciones en las dos tablas.

Los lantánidos y einsténidos, en cuanto deben poseer probablemente configuraciones electrónicas prácticamente análogas, deben ser elementos con propiedades también análogas, aunque, teniendo en cuenta el carácter aproximado de la periodicidad, esta característica no debe tomarse al pie de la letra. En particular, y por lo que se refiere a los estados de oxidación hasta donde son conocidos, los elementos einsténidos poseen el valor 3^+ para dicha propiedad, lo que indicaría su semejanza con los lantánidos. Con todo, las diferencias existentes entre las propiedades, según se tome una u otra de las estructuraciones para el 7.º periodo, deben ser mucho más acusadas que las debidas al hecho de que la periodicidad no sea una ley exacta.

El hecho de que no se conozcan los valores de las propiedades para los einsténidos y elementos siguientes, no permite, por ahora, someter a prueba esta nueva estructuración que hemos sugerido. En las figuras X y XI, se muestran, en sus dos versiones de niveles y de tabla, la nueva estructuración del 7.º periodo. Volviendo a considerar la tesis del autor, la cuestión más importante se refiere a la nueva posición en el 7.º periodo de los superelementos y en particular la del elemento $Z = 110$, que en la tabla "tradicional" resulta ser un eka-Pt y en la que nosotros proponemos un eka-Tm.

FX La versión orbital de la tabla propuesta por el autor, en la que se muestra que los elementos entre el A y el Cf pertenecen a una cuarta serie de transición y los einsténidos (desde el Es al 112 constituyen elementos f

FXI La tabla periódica del autor, en la que lantánidos y einsténidos figuran fuera de la tabla

IA																		VIIA										
H	Li	Na	K	Rb	Cs	Fr	He	Be	Mg	Ca	Sr	Ba	Ra	B	Al	Ga	In	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Ne	Ar	Kr	Xe	118
1	3	11	19	37	55	87																						