

Destacamos de la bibliografía científica...

En esta sección se han destacado dos estudios encontrados en la bibliografía de este año que han sido considerados de interés y se han contextualizado para su mejor comprensión. Estos estudios se encuadran dentro de la química de complejos y la química supramolecular.

¿Esperanzas en el tratamiento de residuos nucleares?

Se ha identificado que los actínidos (An) en medio acuoso se coordinan a nueve moléculas de agua para formar complejos de fórmula $[\text{An}(\text{H}_2\text{O})_9]^{3+}$. Esto es importante porque puede ayudar a entender el comportamiento de estos elementos en los desperdicios nucleares, lo cual podría ayudar a la implementación de métodos más eficientes para el tratamiento de dichos desperdicios y así reducir, o evitar, el daño que estos ocasionan al ambiente.

Manuel Tomita Tasato*

Hoy en día, una de las preocupaciones más grandes del hombre es la búsqueda de nuevas formas de obtener energía, debido a que se ha observado que a corto plazo habrá escasez de combustibles fósiles. A pesar del aumento de las emisiones de CO_2 en el mundo por el abuso de los combustibles fósiles, lo cierto es que, actualmente, el consumo de petróleo, gas natural y energía nuclear ha decaído mientras que formas de energía renovable, como la energía hidroeléctrica se han incrementado. Con esto se refleja el interés mundial en la búsqueda de una energía más limpia y segura y, por ello, algunos gobiernos junto a sectores privados han empezado a detener el flujo del petróleo para minimizar el daño que se está ocasionando en el ambiente¹.

Dentro del compromiso entre la eficiencia energética y la reducción de la contaminación atmosférica, la energía nuclear promete ser capaz de producir enormes cantidades de energía eléctrica. Sin embargo, el gran problema asociado a esta es el de la generación de grandes cantidades de residuos nucleares. Es debido a esto que se ha fomentado la búsqueda de nuevas formas de tratamiento de dichos desperdicios, para hacer de esta energía una más segura y confiable.

El uranio (U), el torio (Th) y el plutonio (Pu) son los elementos químicos principales en las reacciones nucleares. Estos pertenecen al grupo de los actínidos (Ac) y se encuentran en la última fila de la tabla periódica. Estos, junto con los lantánidos (Ln), conforman el bloque f, que es el que contiene el mayor número de elementos radioactivos. De hecho, todos los elementos de la serie de los actínidos son radioactivos, siendo los más

* Manuel Tomita es estudiante de la especialidad de Química en la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la PUCP. (e-mail: m.tomita@pucp.edu.pe)

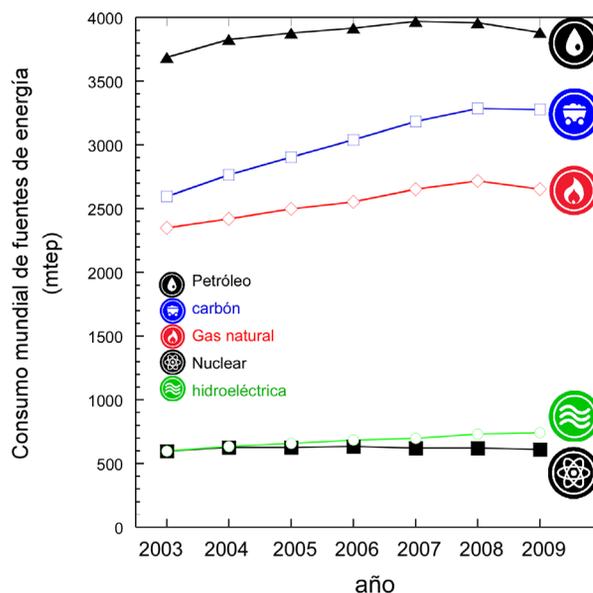
Tabla Periódica

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	At
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hf	Hs	Mt	Ds	Rg	Cp					

Lantánidos (Ln)

57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu						
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109
Ac	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr							

Actínidos (An)



Evolución del consumo mundial de diferentes fuentes de energía expresados en millones de toneladas equivalentes de petróleo (mtep). (Datos obtenidos de la referencia 1).

pesados los que tienen vidas medias más cortas.

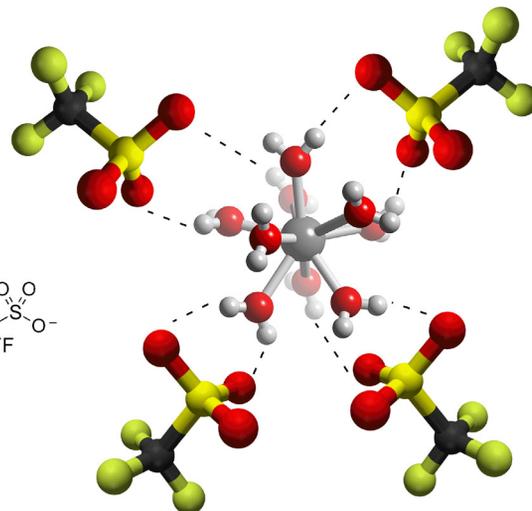
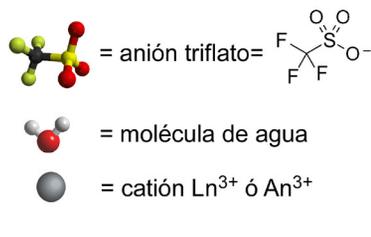
Dado el amplio uso de la energía nuclear, es de suma importancia conocer el comportamiento de los actínidos, para poder medir los riesgos y efectos que tendrán en el ambiente. A pesar de su gran radioactividad y difícil manipulación, se ha podido comprobar que los cationes de los actínidos se coordinan directamente a nueve moléculas de agua para formar complejos iónicos de la forma $[\text{Ac}(\text{H}_2\text{O})_9]^{3+}$.

1.- BP Global. "BP Statistical Review of World Energy" June 2010. Disponible en www.bp.com/statisticalreview (enlace permanente)

Representación esquemática, en modo bolas y palos, de un complejo acuoso nonacoordinado de un lantánido/actínido rodeado por 4 aniones triflato. Este tipo de complejos ha sido recientemente descubierto en el caso de los actínidos y se cree que podrían usarse para comprender el comportamiento de estos elementos radiactivos en desechos nucleares.

Reconstrucción basada en la referencia 5.

(Imágenes tomadas de <http://www.3dchem.com> y [wikimedia commons](http://commons.wikimedia.org))



La información que pueden brindar estos complejos es de gran interés, ya que permitiría conocer el comportamiento de los actínidos en el agua de los desperdicios nucleares. Esto es importante debido a que, de este modo, se pueden implementar métodos más eficientes para el tratamiento de dichos desperdicios y así reducir o evitar el daño que pueden ocasionar en el ambiente.²

Otros estudios afirman que el método más apropiado para el almacenamiento de desperdicios nucleares es el de enterrarlos en formación geológica profunda y se han reportado resultados acerca de la retención de algunos actínidos en minerales como arcillas y apatitas como componentes para un recubrimiento artificial sobre los desperdicios.³ Sin embargo, el conocimiento de la química de los actínidos en el agua es fundamental para entender su comportamiento en dicho almacenamiento subterráneo.

Hasta ahora la química de sus vecinos, los lantánidos, ha servido como inspiración para poder estudiar la química de los actínidos. Los lantánidos pueden formar sales de triflato (CF_3SO_3^-). El grupo triflato puede ser desplazado fácilmente por moléculas de agua, debido a que se coordinan con mayor fuerza, formando una primera esfera de coordinación con 9 moléculas de agua y una segunda con el triflato. Estos complejos han sido utilizados desde hace 20 años como catalizadores en síntesis orgánicas.

La elección de los triflato de lantánidos como catalizadores se debió a que, al ser estables en agua, pueden catalizar una reacción en un medio acuoso y no en uno orgánico.⁴ Esto fue muy prometedor en el campo de la Química Verde ya que se utilizaba un medio de reacción inocuo, además de ser barato y no inflamable. Estos catalizadores fueron utilizados en una gran variedad de reacciones: Diels-Alder, acilaciones Friedel-Crafts, adiciones de Michael, alilaciones, glicosilaciones y otras.

La química única de los metales del grupo de los actínidos ha dificultado la síntesis de complejos análogos. Los pro-

blemas asociados a estas síntesis son que los actínidos forman parte de reacciones de oxidación indeseables y, siendo estos radioactivos, también tienen tiempos de vida muy cortos. Esto los lleva a un rápido decaimiento radioactivo con liberación de energía, la cual daña los enlaces hacia los ligandos.

A pesar de estas dificultades, los investigadores del Karlsruhe Institute of Technology, del departamento de Química de la Universidad de Alabama del Sur y del Oak Ridge National Laboratory, pudieron llevar a cabo la síntesis de diversos compuestos y descubrieron que la simetría del catión central es la misma para todos los actínidos que se estudiaron.⁵ Por otro lado, también se ha descubierto que la segunda esfera de coordinación es la que ayuda a mantener las moléculas de agua unidas a través de puentes de hidrógeno.

Con la información que han brindado análisis espectroscópicos y magnéticos acerca de estos complejos, se ha podido establecer un carácter fuertemente iónico y, en principio, un comportamiento muy similar al de los complejos con lantánidos en agua.

Todo este conocimiento acerca del comportamiento de los actínidos hidratados es fundamental para el entendimiento de cómo los componentes más radioactivos de los desperdicios nucleares se comportan en el agua. Además, esto permitirá que los químicos puedan optimizar procedimientos de separación y extracción de actínidos y, asimismo, tener una mejor idea de cómo prevenir la migración de iones actínidos al ambiente.

Bibliografía esencial

Apostolidis A., Schimmelpfennig B., Magnani N., Lindqvist-Reis P., Walter O., Sykora R., Morgenstern A., Colineau E., Caciuffo R., Klenze R., Haire R., Rebizant J., Bruchertseifer F., Fanghänel T. “[An(H₂O)₉](CF₃SO₃)₃ (An= U-Cm, Cf): Exploring Their Stability, Structural Chemistry, and Magnetic Behavior by Experiment and Theory”. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2010**, *49*, 6343-47.

Polly L. “Cation o’ nine tails”. *Nature.* **2010**, *466*, 704-705.

5. Apostolidis A. y col. *Angew. Chem. Int. Ed.* **2010**, *49*, pp 6343-47.

2. Polly L. *Nature.* **2010**, *466*, 704-705.

3. Badillo V.E. “La química en el almacenamiento de desechos radioactivos”. Resúmenes del XXV Congreso Latinoamericano de Química y YXXXVII Congreso Mexicano de Química. Cancún, 2002.

4. Luo S. y col. *Chin. Sci. Bull.* **2001**, *46*(20), 1673-81.