

Radiocronología de sedimentos marinos y su aplicación en la comprensión de los procesos de contaminación ambiental en ecosistemas marinos cubanos

Carlos M. Alonso-Hernández, Misael Díaz-Asencio, Miguel Gómez-Batista, Yoelvis Bolaños-Alvares, Alain Muñoz-Caravaca, Yasser Morera-Gómez
Centro de Estudios Ambientales de Cienfuegos
AP5, Ciudad Nuclear, Cienfuegos, CP 59350, Cienfuegos
carlos@ceac.cu

Resumen

En este trabajo se sistematizan algunos resultados alcanzados en la aplicación de la radiocronología de sedimentos marinos para la reconstrucción de bases de datos y el conocimiento de la evolución de la contaminación ambiental en cuatro ecosistemas costeros de relevancia nacional: las bahías de Cienfuegos y la Habana, así como los estuarios de los ríos Sagua y La Coloma en el Golfo de Batabanó. Se seleccionaron flujos de metales pesados y compuestos orgánicos persistentes que fueron discutidos para estos ecosistemas. Se mostró la eficacia de la radiocronología como herramienta para la gestión ambiental y el conocimiento de los procesos temporales de contaminación en el medio acuático.

Palabras clave: Cuba, ecosistemas acuáticos, datación por isótopos, sedimentos, polución

Radiochronology of marine sediments and its application to the knowledge of the process of environmental pollution in coastal Cuban ecosystems

Abstract

The results achieved in the implementation of the radiochronology of marine sediments for the reconstruction of databases and knowledge of the evolution of environmental pollution in four coastal ecosystems of national significance are presented in this paper. Fluxes of selected heavy metals and persistent organic compounds are discussed for the Cienfuegos and Havana bays and Sagua and La Coloma estuaries. Finally, it is shown the effectiveness of radiochronology of sediments as a useful tool for environmental management and knowledge of temporal processes of pollution in the aquatic environment.

Key words: Cuba, aquatic ecosystems, isotope dating, sediments, pollution

Introducción

Las sustancias radiactivas están presentes de forma natural en todos los componentes del planeta. Radioisótopos del K, Th y U, así como los productos de desintegración radiactiva de estos dos últimos componen la radiactividad debida a los procesos ocurridos desde la formación de la tierra. Otro grupo de radionúclidos, de procedencia cosmogénica, se depositan continuamente en la superficie terrestre, conformando ambos grupos el inventario de radiactividad natural [1]. A este inventario se le añade, en los últimos cien años, un amplio espectro de radionúclidos artificiales producidos por las

actividades humanas. Los ensayos de armas nucleares constituyen, en particular, el principal contribuyente [2].

Los estudios de la radioactividad ambiental, a nivel global, se han focalizado en dos direcciones fundamentales: una, vinculada a la Seguridad Radiológica y otra, al uso de su distribución espacial y temporal para entender los procesos ambientales. Esta nueva ciencia es conocida como Radioecología.

En Cuba el emplazamiento de la Central Nuclear (CEN) Juraguá ha sido, en los últimos 30 años, escenario de diversos proyectos de investigación vinculados a la radioactividad ambiental. Programas de estudios prolongados se ejecutaron para establecer la

línea base o fondo radiológico ambiental [3]. El Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones y los laboratorios de la Red Nacional de Vigilancia Radiológica Ambiental también han desarrollado estudios e investigaciones vinculadas a la evaluación de las dosis que recibe la población por diversas fuentes de radiación ambiental [4-7].

Desde el punto de vista radioecológico, los estudios de erosión de suelos utilizando el ^{137}Cs [8,9] y la geocronología de sedimentos acuáticos, a través de la distribución de ^{210}Pb , ^{137}Cs y $^{239,240}\text{Pu}$ han sido las principales aplicaciones de la radioactividad ambiental en Cuba [10]. Estas tecnologías han sido transferidas al país como resultado de la colaboración con el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) a través de los proyectos de asistencia técnica CUB7006, CUB7008 y RLA7012.

El objetivo de este trabajo es presentar los resultados alcanzados en la aplicación de la radiocronología de sedimentos, a través de radioisótopos ambientales para conocer la evolución de algunos contaminantes ambientales (metales pesados y compuestos orgánicos persistentes) en cuatro ecosistemas marinos de prioridad nacional.

Materiales y Métodos

La radiocronología de sedimentos con ^{210}Pb es el método más utilizado para reconstruir los cambios ambientales recientes en sistemas acuáticos. El ^{210}Pb es un radionúclido natural, miembro de la serie radiactiva del ^{238}U . Tiene un período de semidesintegración ($T_{1/2}$) de 22,3 años y permite fechar sedimentos acumulados en los últimos 100-150 años, período durante el cual son más notables las diversas manifestaciones del cambio global (e.g. contaminación, elevación del nivel del mar, eutrofización). Después, estas capas se pueden analizar para buscar los contaminantes de interés y determinar su flujo y deposición en el sedimento en los últimos 120 años.

La datación con ^{210}Pb puede confirmarse mediante la vigilancia de los radionúclidos artificiales asociados a los ensayos de armas nucleares (se suele seleccionar el ^{137}Cs o isótopos del plutonio). Estos radioisótopos alcanzaron concentraciones máximas en 1963, aproximadamente. Aunque la bioperturbación de los sedimentos puede hacer que los materiales se mezclen dentro de las calas, el método descrito se ha usado con éxito para evaluar el historial de aportes de trazas metálicas, plaguicidas, bifenilos policlorados, hidrocarburos saturados (petróleo) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HPA).

Áreas de estudios

Para conocer la evolución de la contaminación ambiental mediante las técnicas de fechado con ^{120}Pb , fueron seleccionadas cuatro ecosistemas costeros de relevancia nacional.

Bahía de Cienfuegos

La bahía de Cienfuegos está localizada en los $22^{\circ} 09'$ de latitud norte y $80^{\circ} 27'$ de longitud oeste, en la

región centro sur de Cuba. Es una típica bahía de bolsa, con un área de 90 km^2 y volumen medio de $870 \times 10^6 \text{ m}^3$. El sistema costero de la bahía tiene una longitud aproximada de 100 km y la cuenca tributaria de la bahía es de $2\,210 \text{ km}^2$. En la zona noroeste se ubica la ciudad de Cienfuegos, con una población cercana a los $160\,000$ habitantes.

La bahía está dividida de forma natural en dos lóbulos. El lóbulo norte recibe la mayor contaminación debido a los residuales de la ciudad de Cienfuegos y del polo industrial. Estudios realizados en los sedimentos de la bahía demostraron contaminación por hidrocarburos [11], plaguicidas [12] y metales pesados, particularmente vanadio y plomo [5], así como el metaloide arsénico, presente en el ecosistema debido a liberaciones accidentales de la fábrica de fertilizantes nitrogenados [13].

Bahía de La Habana

La Bahía de La Habana se encuentra situada en la costa norte de la región occidental de Cuba. Es una pequeña bahía de bolsa, con una superficie de $5,2 \text{ km}^2$, un perímetro de 18 km y profundidad media de 9 m . Posee características de estuario parcialmente mezclado y está estrechamente vinculada con el ecosistema urbano de la ciudad, los ecosistemas urbano-industriales de la periferia, los ecosistemas fluviales que tributan a su cuenca y los ecosistemas litorales marinos adyacentes. La cuenca tributaria es de 68 km^2 y cuenta con un gran número de industrias y zonas altamente pobladas [14]. La acumulación de contaminantes y la baja capacidad de autodepuración del ecosistema han provocado que la bahía se haya convertido en un sistema eutrófico y anóxico en diferentes zonas, lo que ha originado graves problemas ambientales y una reducción de la biodiversidad. Desde 1998 un exigente programa de recuperación se ha implementado con resultados en la reducción de la contaminación y el inicio de mejoras en algunos indicadores ambientales [15].

Estuario del río Sagua

El río Sagua nace en la zona norte de la sierra del Escambray, atraviesa la provincia de Villa Clara y desemboca al norte de la ciudad de Sagua la Grande. Por su extensión lineal y cuenca tributaria es el tercer río mayor de Cuba, con 144 km y $2\,188 \text{ km}^2$, respectivamente. En su cuenca viven más de $400\,103$ habitantes que utilizan sus aguas como fuente de abasto de diversas actividades socioeconómicas.

En 1981 en las riberas del río se instaló una planta de cloro-sosa que utiliza celdas de mercurio en su proceso productivo. A pesar de los sistemas de tratamiento y confinamiento, esta instalación ha liberado Hg al ambiente desde esa fecha [16]. En la cuenca existen varias obras reguladoras, se destaca el embalse Alacranes, construido en 1972, con capacidad para $352\,106 \text{ m}^3$ utilizado como abasto a la población y en la agricultura. Trabajos previos han demostrado la acumulación de mercurio en material particulado [16] y organismos marinos [17,18] en la desembocadura del río y la zona costera aledaña debido a las descargas de la planta de cloro-sosa.

Golfo de Batabanó

El golfo de Batabanó se localiza entre el cayo Diego Pérez y el cabo Francés en la región suroccidental de Cuba. Comprende un mar somero con una superficie superior a 20 000 km². La zona central es un aplanado fondo cubierto de fango, con arena y arcilla en las zonas más profundas; la profundidad media es de 6 m y la máxima es de 12 m. La costa es una gran ciénaga cubierta de mangle. En esta zona descargan numerosos ríos, esteros y lagunas costeras. Las corrientes marinas son de poca intensidad y dependientes de la dirección del viento.

Este ecosistema posee una amplia y diversa fauna marina y es una de las zonas de mayor potencial pesquero de Cuba y el Caribe, en especial, la zona aporta el 70 % de las capturas de langostas del país [19]. En los últimos años varias investigaciones han mostrado la ocurrencia de cambios en la zona, lo que ha producido erosión costera, cambios en la sedimentación [20, 21] y efectos en la reducción de los recursos pesqueros y la biodiversidad. La ausencia de registros históricos impide identificar las causas de estos cambios. Estudios recientes han demostrado que el golfo, desde el punto de vista de contaminación es considerado como área prístina o de muy bajo nivel de contaminación [22]. Sin embargo, en zonas cercanas a la desembocadura del río Coloma se han cuantificado trazas de compuestos orgánicos persistentes como DDT y Lindano.

Colecta de perfiles sedimentarios

Se colectaron perfiles de sedimentos utilizando nucleadores con tubos de PVC (60 cm de longitud y 10 cm de diámetro). En todos los casos el muestreo se realizó mediante buceo autónomo para evitar la compactación y mezcla de los sedimentos. Los detalles de los núcleos colectados han sido publicados anteriormente para la Bahía de Cienfuegos [23], la Bahía de la Habana [14], el Estuario Sagua [24] y el Golfo de Batabanó [25]

Métodos analíticos y modelos utilizados

Para cada sitio de estudio los métodos radioquímicos y modelos utilizados en el fechado de sedimentos, a partir de la distribución vertical de ²¹⁰Pb son los publicados por el OIEA en "Guía para el uso de sedimentos en la reconstrucción histórica de la contaminación en zonas costeras" y "Radiocronología de sedimentos costeros utilizando ²¹⁰Pb: modelos, validación y aplicaciones" [26].

De manera resumida, los ensayos se realizaron utilizando métodos analíticos normalizados y validados. La calidad de los resultados se aseguró analizando materiales de referencia certificados (MRC). Se aplicó la norma ISO/DIS13528 en la evaluación de estos controles.

Los métodos analíticos utilizados para la cuantificación de los contaminantes en cada sitio de estudio fueron publicados detalladamente por Alonso-Hernández y col. para la Bahía de Cienfuegos [23] y el Golfo de Batabanó [25] y Díaz-Asencio y col. para la Bahía de la Habana [14] y el Estuario Sagua [24].

En cada sitio de estudio se determinaron las tasas de sedimentación anuales que permitieron fechar los perfiles colectados. Los flujos de contaminantes específicos se obtuvieron de la multiplicación de las concentraciones de contaminantes en cada estrato por la tasa de sedimentación correspondiente.

Resultados y Discusión

Tasas de sedimentación

En la Figura 1 se presenta la media de las tasas de sedimentación para cada sitio estudiado. Las tasas de sedimentación calculadas se encuentran entre 0,17 y 2,3 g cm⁻² a⁻¹ y se obtienen los mayores valores para la Bahía de la Habana. A partir de estos valores, la Bahía de la Habana recibe unas 12 000 toneladas de sedimentos anuales y la convierten en uno de los ecosistemas más contaminados por sedimentos del área del Caribe, lo que demuestra la necesidad de incrementar las medidas de manejo de la cuenca. Las tasas de sedimentación para el resto de los ecosistemas estudiados están en correspondencia con el nivel de deforestación de sus cuencas y son similares a las reportadas para otras áreas del Caribe [27].

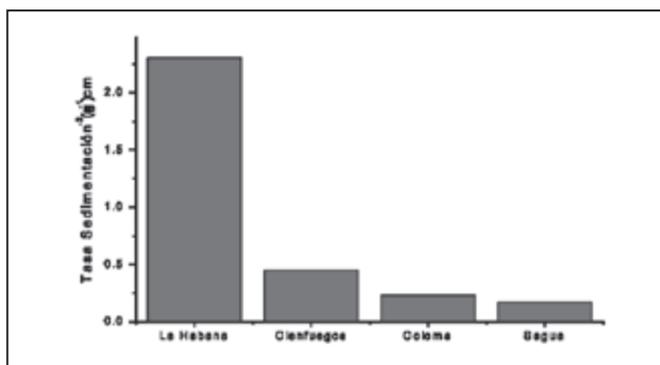


Figura 1. Tasa de sedimentación en los sitios estudiados.

Caso de Estudio I: Evolución de la contaminación de plomo, vanadio, zinc y arsénico en la Bahía de Cienfuegos.

A partir de los resultados obtenidos de las tasas de sedimentación y de los análisis de plomo, vanadio, zinc y arsénico en las capas del perfil de sedimento fechado, se reconstruyó la contaminación de estos elementos en la Bahía de Cienfuegos, la cual se presenta en la Figura 2. Los datos primarios para reproducir estos resultados han sido publicados por Alonso-Hernández y col. [23]. La Figura 2a representa la evolución de la contaminación por plomo, vanadio y zinc en la bahía a partir de 1900. Se observa un significativo incremento a partir de la década del 70, período en el cual, un importante polo industrial fue emplazado en las riberas del lóbulo norte de la bahía.

Tanto el vanadio, el zinc como el plomo son indicadores de emisiones de plantas de producción de energía eléctrica a base de la quema de petróleo. La termoeléctrica "Carlos Manuel de Céspedes" y la refinería de petróleo "Camilo Cienfuegos", emplazadas en la zona

norte de la Bahía, son las principales fuentes de emisión de metales pesados a la bahía.

A partir del inicio de los años 70 se ha evidenciado un incremento en los flujos de arsénico al lecho sedimentario de la bahía (Figura 2b), coincidente con la puesta en funcionamiento de la fábrica de fertilizantes nitrogenados, así como dos máximos son identificados en el perfil, con fechas 1981 y 2002, respectivamente.

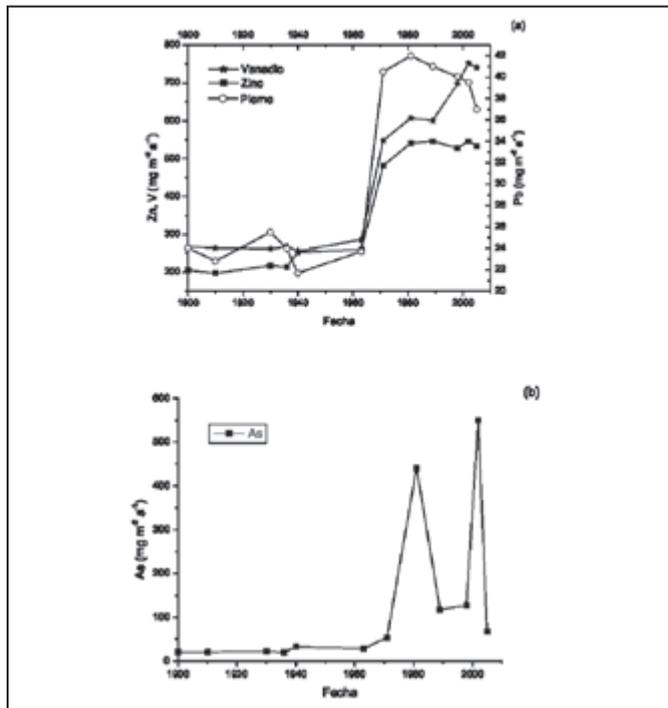


Figura 2. Flujo de plomo, zinc, vanadio y arsénico a los sedimentos en la Bahía de Cienfuegos.

Estos picos son señales evidentes de las liberaciones accidentales de residuales arsenicales, ocurridos en 1979 y diciembre de 2001. Los resultados obtenidos han permitido a las autoridades sanitarias y ambientales del territorio tomar un grupo de medidas para minimizar los riesgos a la salud de la población y el ecosistema. Una de esas medidas ha sido la prohibición de la pesca de arrastre para evitar la resuspensión del arsénico depositado y su biodisponibilidad en la cadena alimenticia. Adicionalmente, todas las actividades de mantenimiento de los canales para la navegación, que requieren actividades de dragado, se realizan bajo continuo monitoreo y vigilancia ambiental. Anualmente se lleva a cabo un programa de monitoreo de la concentración de metales pesados en los organismos marinos colectados en la bahía.

Caso de Estudio II: Evolución de la contaminación por mercurio en el estuario del río Sagua.

La Figura 3 muestra la evolución de la contaminación por mercurio del estuario del río Sagua, en el último siglo, calculada a partir del fechado de perfiles de sedimentos con ²¹⁰Pb, ¹³⁷Cs y ^{239, 240}Pu y la cuantificación de mercurio total por DMA [24].

El incremento de la contaminación por mercurio, observado a partir de la década del 80, responde a las liberaciones de este contaminante desde la planta de

cloro sosa emplazada en 1981 en el municipio de Sagua la Grande, Villa Clara.

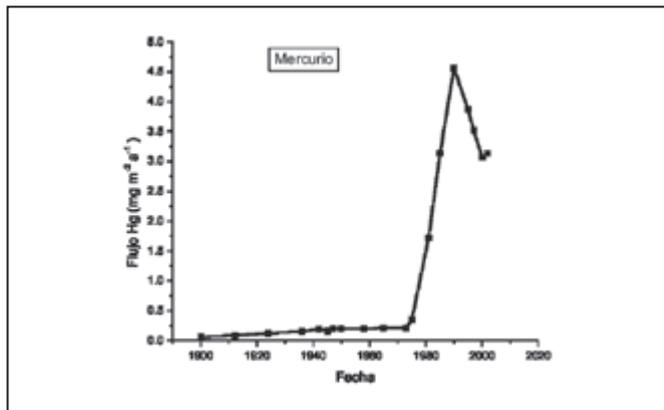


Figura 3. Evolución de la contaminación por mercurio del estuario del río Sagua.

Los máximos flujos (seis veces superiores a los naturales) se obtienen al inicio de los 90. A partir de esta fecha y como consecuencia de la contracción económica producida por el período especial, hay una tendencia a la disminución de los flujos de mercurio. Esta disminución puede estar también vinculada a mejoras en los procesos de gestión de residuales en la planta a partir del 2000. Estudios realizados a partir de estos resultados demuestran que el ecosistema ha sido fuertemente impactado, en particular a la vida de comunidades de moluscos bentónicos y la resiliencia del ecosistema está fuertemente comprometida. Estos resultados contribuyeron a los estudios de factibilidad ambiental y económica para un cambio de tecnología en la planta, proceso que debe concluir en el presente año.

Caso de Estudio III: Evolución de la contaminación por mercurio y plomo en la Bahía de la Habana.

La distribución temporal de la contaminación por mercurio y plomo en los sedimentos de la Bahía de la Habana se muestra en la Figura 4. Tanto el plomo como el mercurio han sido utilizados por varios autores como indicadores del impacto del desarrollo industrial y urba-

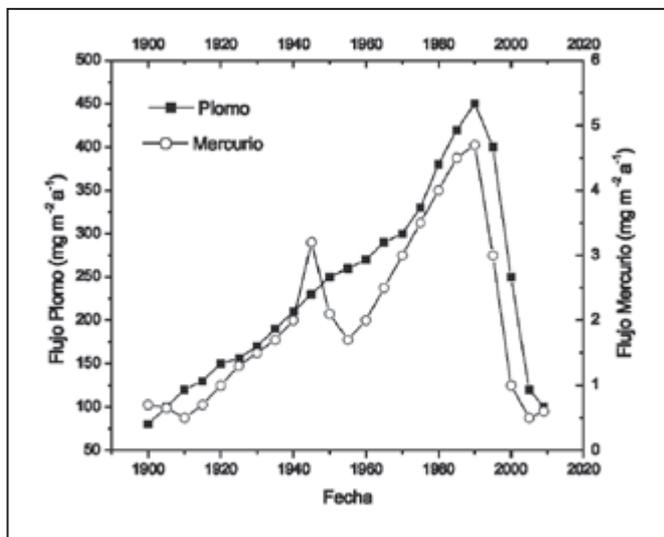


Figura 4. Evolución histórica de los flujos de mercurio y plomo a los sedimentos de la bahía de la Habana

no [28-30]. En el caso de la Bahía de la Habana, en la Figura 4 se constata un incremento regular de los flujos de los contaminantes estudiados desde 1900 hasta finales del siglo xx, a partir del cual se evidencia un continuo decrecimiento de la contaminación. Esta mejoría en el ecosistema pudiera estar asociada, tanto a la depresión de la actividad industrial provocada por el período especial como a las acciones de manejo desarrolladas en los últimos 20 años en el ecosistema, como resultado de la creación en 1998 del Grupo de Trabajo Estatal para la Gestión Ambiental Integrada y el Desarrollo Sostenible de la Bahía de La Habana, su Cuenca Tributaria y la Zona Costera Contigua de Interacción. (GTE-BAHÍA HABANA).

Las medidas de gestión implementadas en la bahía y su cuenca, a partir de 1990 han ayudado a restablecer los flujos naturales de sedimentos en este ecosistema marino. Las acciones han contribuido a lograr un equilibrio entre la bahía y su cuenca tributaria y se ha garantizado una disminución de los efectos que la sedimentación provoca sobre los usos marítimo-portuarios que allí se realizan. La base de datos reconstruida y publicada por Díaz-Asencio y colaboradores [14] ha permitido comprender la evolución y estado actual de la contaminación de la Bahía de La Habana y se demuestra el impacto y eficacia de las acciones del programa de rehabilitación en la calidad ambiental del ecosistema. El conocimiento aportado permite identificar nuevas acciones para lograr disminuir la vulnerabilidad del ecosistema y sus usos actuales y futuros.

Caso de Estudio IV: Evolución de la contaminación por compuestos orgánicos persistentes (DDT y Lindano) en el estuario del río La Coloma, en el golfo de Batabanó.

La distribución de los flujos de compuestos orgánicos persistentes (DDT y Lindano) en el estuario del río la Coloma se muestra en la Figura 5. La misma se calculó a partir de las concentraciones de DDT y Lindano y las tasas de sedimentación del área, publicadas en detalles por Alonso-Hernández y colaboradores en 2015 [25].

Los flujos del DDT y el Lindano reflejan el grado de aplicación de estos compuestos en la cuenca tributaria. La suma de los isómeros DDT se ha detectado a partir de la década del 50, con incremento temporal hasta finales de la década de los 80. Desde 1950 el DDT fue utilizado en la producción agrícola, particularmente en el arroz y para el control de vectores de enfermedades en la salud humana [31]. A partir de 1990 el uso del DDT en Cuba es prohibido y se suspende su importación, así la década de los 90 se caracterizó por una disminución de la contaminación por estos compuestos, lo cual podría estar asociado a la depresión en el sector agrícola, generado por el período especial.

Un incremento en los flujos de DDT se observa en la Figura 5, a partir de este siglo, lo que evidencia que aun cuando por resolución, las aplicaciones de DDT están prohibidas, se usa en la actualidad en la cuenca del río la Coloma. Similar conclusión arroja la evolución de la contaminación con lindano, aun cuando su uso

fue también restringido en 1990. Ambos contaminantes pueden provocar efectos negativos en los organismos acuáticos, en especial, en la dureza de los huevos y en estados larvales. Este resultado ha demostrado la capacidad de la radiocronología como útil herramienta para el manejo y gestión de los ecosistemas costeros, en particular, cuando no se cuenta con bases de datos. Resulta también un instrumento válido para evaluar la eficacia de las acciones dirigidas a la protección y conservación del ambiente marino.

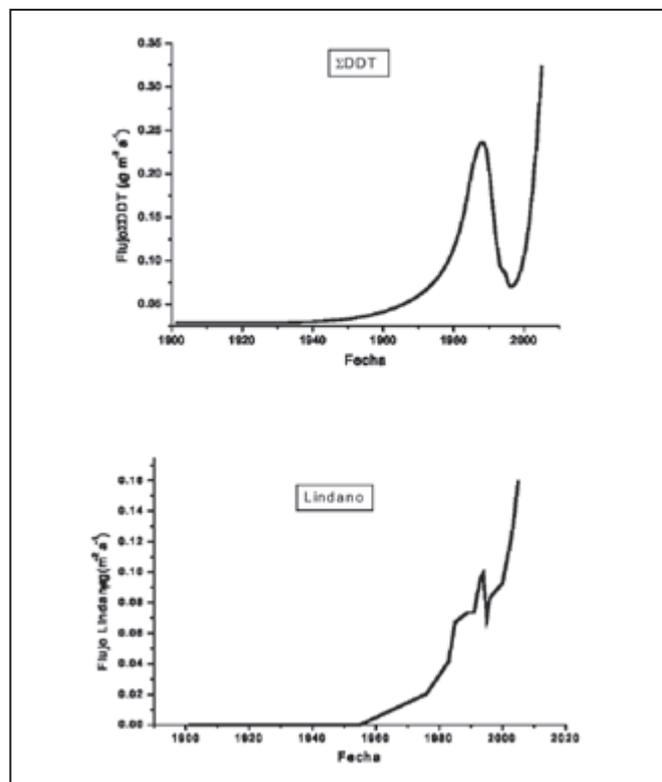


Figura 5. Flujos de DDT y lindano a los sedimentos del estuario del río La Coloma, en el Golfo de Batabanó.

Conclusiones

Se demuestra la validez de la radiocronología de sedimentos como eficaz herramienta en la solución de problemas específicos del manejo de cuencas y zonas costeras, lo que permite la reconstrucción y el entendimiento de las fuentes, distribución y destino final de contaminantes en el medio marino.

Referencias bibliográficas

- [1] United Nations Scientific Committee on the Effect of the Atomic Radiation (UNSCEAR). Sources and effects of ionizing radiation. Exposures from natural sources of radiation 1993. Annex A. New York: United Nations, 1993.
- [2] United Nations Scientific Committee on the Effect of the Atomic Radiation (UNSCEAR). Sources and effects of ionizing radiation. New York: United Nations, 2000.
- [3] PRENDES ALONSO M, ALONSOHERNÁNDEZ CM, TOMÁS ZERQUERA J, et. al. Estudio de la carga radiacional a miembros del público en el emplazamiento de la central electronuclear de Juraguá por la operación de la instalación. Nucleus. 1998; (25): 54-62.
- [4] ALONSO HERNÁNDEZ CM, DÍAZ ASENCIO M, MUÑOZ CARAVACA A, et. al. ^{137}Cs and ^{210}Po dose assessment from marine food

- in Cienfuegos Bay (Cuba). *J Environ Radioact.* 2002; 61(2): 203-211.
- [5] ALONSO HERNÁNDEZ CM, PÉREZ SANTANA S, MUÑOZ CARAVACA A, et. al. Historical trends in heavy metal pollution in the sediments of Cienfuegos Bay (Cuba), defined by ^{210}Pb and ^{137}Cs geochronology. *Nucleus.* 2005; (39): 20-26.
- [6] BRÍGIDO FLORES O, BARRERA CABALLERO A, MONTALVÁN ESTRADA C, et. al. Exposición de la población cubana debido a la incorporación de Pb-210 y Po-210 a través de la dieta. *Nucleus.* 2000; (29): 23-29.
- [7] TOMÁS ZERQUERA J, PRENDES ALONSO M, BRÍGIDO FLORES O, et. al. Study on external exposure doses received by the Cuban population from environmental radiation sources. *Radiat Protect Dosimetry.* 2001; 95(1): 49-52.
- [8] GIL CASTILLO R, PERLATAVITAL J, CARRAZANA GONZÁLEZ M. Aplicación de las determinaciones de ^{137}Cs para evaluar niveles de erosión en suelos agrícolas del Occidente de Cuban. *Nucleus.* 2004; (36): 23-27.
- [9] SIBELLO HERNÁNDEZ RY, CARTAS ÁGUILA H, MARTÍN PÉREZ J. Uso del Cesio-137 como radiotrazador en la cuantificación de la erosión de suelos tropicales. *Nucleus.* 2005; (38): 19-24.
- [10] GELEN A. Caracterización espacial y temporal de los sedimentos en ecosistemas acuáticos por un sistema de procedimientos que integra las técnicas nucleares y radioisotópicas. Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Nucleares, 2010.
- [11] TOLOSA I, MESA ALBERNAS M, ALONSO HERNÁNDEZ CM. Inputs and sources of hydrocarbons in sediments from Cienfuegos bay, Cuba. *Mar Pollut Bull.* 2009; 58(11): 1624-1634.
- [12] TOLOSA I, MESA ALBERNAS M, ALONSO HERNÁNDEZ CM. Organochlorine contamination (PCBs, DDTs, HCB, HCHs) in sediments from Cienfuegos bay, Cuba. *Mar Pollut Bull.* 2010; 60(9): 1619-1624.
- [13] ALONSO HERNÁNDEZ CM, GÓMEZ BATISTA M, DÍAZ ASENCIO M, et. al. Total arsenic in marine organisms from Cienfuegos bay (Cuba). *Food Chemistry.* 2012; 130(4): 973-976.
- [14] DÍAZ ASENCIO M, ALVARADO JAC, ALONSO HERNÁNDEZ C, et. al. Reconstruction of metal pollution and recent sedimentation processes in Havana Bay (Cuba): a tool for coastal ecosystem management. *J Hazard Mater.* 2011; 196: 402-411.
- [15] GELEN A, LÓPEZ N, MASLOV OD, et. al. Gamma activation analysis of marine sediments at Havana Bay, Cuba. *J Radioanal Nucl Chemistry.* 2005; 266(3): 485-490.
- [16] GONZÁLEZ H. Mercury Pollution caused by a chlor-alkali plant. *Water Air and Soil Pollution.* 1991; 56(1): 83-93.
- [17] DE LA ROSA D, LIMA L, OLIVARES RIEUMONT S, et. al. Assessment of total mercury levels in *Clarias gariepinus* from the Sagua la Grande River, Cuba. *Bull Environ Contam Toxicol.* 2009; 82(1): 101-105.
- [18] OLIVARES RIEUMONT S, LIMA L, RIVERO S, et. al. Mercury levels in sediments and mangrove oysters, *Crassostrea rizophorae* from the north coast of Villa Clara, Cuba. *Bull Environ Contam Toxicol.* 2012; 88(4): 589-593.
- [19] BAISRE J, BOOTH S, ZELLER D. Cuban fisheries catches within FAO area 31: 1950-1999. Fisheries Centre Research Reports. 2003; 11(6): 133-139. <http://www.seaaroundus.org/doc/CatchReconstruction/EEZ/Cuba-Baisre-2003.pdf>
- [20] GIERMO G, VOLKOV II. Ree in Sediments of Rivers of Batabano Bay Cuba. *Geokhimiya.* 1988; 6: 892-896.
- [21] ACKER JG, VASILKOV A, NADEAU D, et. al. Use of SeaWiFS ocean color data to estimate neritic sediment mass transport from carbonate platforms for two hurricane-forced events. *Coral Reefs.* 2004; 23(1): 39-47.
- [22] ALONSO HERNÁNDEZ CM, CONTE F, MISIC C, et. al. An overview of the Gulf of Batabano (Cuba): environmental features as revealed by surface sediment characterisation. *Cont Shelf Research.* 2011; 31(7-8): 749-757.
- [23] ALONSO HERNÁNDEZ CM, DÍAZ ASENCIO M, MUÑOZ CARAVACA A, et. al. Recent changes in sedimentation regime in Cienfuegos Bay, Cuba, as inferred from ^{210}Pb and ^{137}Cs vertical profiles. *Continental Shelf Research.* 2006; 26(2): 153-167.
- [24] DÍAZ ASENCIO M, ALONSO HERNÁNDEZ CM, BOLAÑO SALVAREZ Y, et. al. One century sedimentary record of Hg and Pb pollution in the Sagua estuary (Cuba) derived from ^{210}Pb and ^{137}Cs chronology. *Mar Pollut Bull.* 2009; 59(4-7): 108-115.
- [25] ALONSO HERNÁNDEZ CM, TOLOSA I, MESA ALBERNAS M, et. al. Historical trends of organochlorine pesticides in a sediment core from the Gulf of Batabanó, Cuba. *Chemosphere.* 2015; 137: 95-100.
- [26] SÁNCHEZ CABEZA JA, RUIZ FERNÁNDEZ AC, DÍAZ ASENCIO M. Radiocronología de sedimentos costeros utilizando ^{210}Pb : modelos, validación y aplicaciones. Vienna: IAEA, 2012.
- [27] RUIZ FERNÁNDEZ AC, SÁNCHEZ CABEZA JA, ALONSO HERNÁNDEZ CM, et. al. Effects of land use change and sediment mobilization on coastal contamination (Coatzacoalcos River, Mexico). *Continental Shelf Research.* 2012; 37(1): 57-65.
- [28] APPLEBY PG. Environmental change and atmospheric contamination on Svalbard: sediment chronology. *Journal of Paleolimnology.* 2004; 31(4): 433-443.
- [29] FLOWER RJ, MACKAY AW, ROSE NL, et. al. Sedimentary Records of Recent Environmental-Change in Lake Baikal, Siberia. *The Holocene.* 1995; 5(3): 323-327.
- [30] FUNG YS, LO CK. Determination of heavy metal profiles in dated sediment cores from Sai Kung Bay, Hong Kong. *Environ Int.* 1997; 23(3): 317-335.
- [31] DIERKSMEIER G. Pesticide contamination in the Cuban agricultural environment. *TrAC Trend Anal Chem.* 1996; 15(5): 154-159.

Recibido: 10 de junio de 2016

Aceptado: 28 de julio de 2016