

---

# RASTREO DE LA NUCLEARIZACIÓN: CIRCULACIÓN DE RADIOISÓTOPOS EN MÉXICO, 1949-1970

GISELA MATEOS<sup>1</sup>  
EDNA SUÁREZ-DÍAZ<sup>2</sup>

---

## ABSTRACT. RADIOISOTOPES CIRCULATION IN MÉXICO, 1949-1970

This essay introduces the early history of radioisotopes distribution in Mexico. Using radioisotopes as *tracers* of historical processes, we follow the Cold War geopolitical context where applications, research and production of radioisotopes took place within the nascent Mexican nuclearity. The US program of distribution of radioisotopes to foreign countries (1947) has been depicted as a crucial instrument in its foreign policy. Radioisotopes symbolized and embodied the peaceful applications of atomic energy, and thus they were a central ingredient in the *Atoms for Peace* initiative announced by President Dwight Eisenhower in 1953. We trace the journeys of these materials, the people, disciplines, practices, and instruments (such as research reactors) involved in the traffic across the border and within the Mexican territory. These journeys require a multilevel narrative that aims to depict the intersection of multiple actors in different countries, as well as the overlapping agendas of the Cold War and development programs.

KEYWORDS. Radioisotopes, *Atoms for Peace*, science in Mexico, research reactors, atomic fallout, radiochemistry, women and science.

---

## INTRODUCCIÓN

En 1949 el Hospital General de la Secretaría de Salud y los Laboratorios Clínicos de México, S. A. recibieron un cargamento de <sup>131</sup>I (yodo 131) para el tratamiento de cáncer de tiroides y “tirotoxicosis<sup>3</sup>”. Habían sido enviados, el 23 de agosto de ese año, del Oak Ridge National Laboratory, Tennessee (Estados Unidos). Unos meses después, el 25 de julio de 1950, se envía, desde el mismo lugar, un cargamento de <sup>60</sup>Co (cobalto 60), destinado al Hospital Civil de Guadalajara, el cual se utilizaría para sustituir la fuente de radio que se había utilizado hasta entonces en el tratamiento

---

Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades (CEIICH), Universidad Nacional Autónoma de México. / gisela.mateos@unam.mx.

Grupo de Estudios de la Ciencia y la Tecnología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. / ednasuarez@ciencias.unam.mx.

terapéutico del cáncer <sup>4</sup>. Estos fueron los primeros isótopos radiactivos recibidos por México y, como en otras partes del mundo, su uso era terapéutico <sup>5</sup>.

Esta no era la única función que entonces cumplían los radioisótopos. Los usos *industriales* y de *investigación* formaban parte de las aplicaciones más extendidas de esos materiales en las décadas que precedieron y siguieron a la Segunda Guerra Mundial, y que tenían su origen en las prácticas de laboratorio y la economía moral del Laboratorio de Radiaciones de Ernest Lawrence en Berkeley (Creager y Santesmases, 2006; Creager, 2013). En 1954 la Compañía Mexicana de Luz y Fuerza Motriz <sup>6</sup> adquiere en Canadá los primeros radioisótopos para uso industrial. Se trató de <sup>91</sup>Y (iridio 91) y <sup>60</sup>Co, que se utilizarían “para examinar [mediante una gammagrafía] las soldaduras hechas en el sitio en las tres tuberías de presión que conducían el agua a cada una de las unidades de la central” (Vélez Ocón, 1997, p. 15).

El contexto y las condiciones en que ocurren esos primeros envíos, así como los inicios de la producción nacional de radioisótopos y su distribución, es decir, los *trayectos* de esos materiales a través de las fronteras y dentro del territorio mexicano, es uno de los objetivos de este artículo <sup>7</sup>. Ahora bien, a través de las fronteras no sólo se movían materiales. La manipulación y el uso de radioisótopos requería que jóvenes investigadores y estudiantes mexicanos viajaran fuera del país (especialmente a Estados Unidos) para recibir el entrenamiento y conocimiento necesarios en las técnicas de la radioquímica, la radiobiología y otras, así como el uso de radioisótopos como rastreadores (*tracers*) de fenómenos meteorológicos y biológicos, y como datadores arqueológicos y geológicos. Asimismo, que investigadores y funcionarios extranjeros vinieran a México a explorar, supervisar, asesorar y colaborar con la naciente comunidad nuclear del país. Por ello, cuando hablamos de los trayectos de los radioisótopos cruzando fronteras y dentro del territorio nacional, hablamos también de la movilización de prácticas, de conocimientos (incluida la compra de numerosos libros y revistas científicas<sup>8</sup>), de personas, e incluso de símbolos y significados —como explicaremos adelante.

Como lo indica el título de nuestro artículo, los radioisótopos también pueden funcionar como instrumentos del historiador. “Seguir” las trayectorias de los radioisótopos, usarlos como *rastreadores* de los procesos históricos, ha conducido a escribir algunas de las narrativas más interesantes de la historia de la ciencia durante el periodo de la Guerra Fría <sup>9</sup>. Angela Creager ha explotado esta característica de los radioisótopos para narrar uno de los episodios centrales en la historia de la biología molecular y, recientemente, de la biología y la medicina en la posguerra <sup>10</sup> (Creager, 2009, 2013). Así pues, nuestro segundo objetivo es narrar una parte importante de la historia de la *nuclearidad* mexicana mediante el rastreo de los

radioisótopos que llegaron y circularon en el periodo entre 1949 y los primeros años de la década de los setenta.

Al hablar de nuclearidad (*nuclearity*) nos referimos al concepto desarrollado por la historiadora Gabrielle Hecht, el cual se refiere “al grado en que una nación, un programa, una política, una tecnología, o incluso un material cuentan como “nucleares”; la nuclearidad es un espectro, no una condición de todo o nada. Tanto la nuclearidad como sus implicaciones emergieron de formas sustantivas de la dinámica entre la Guerra Fría y las visiones postcoloniales del mundo <sup>11</sup>” (Hecht, 2006, p. 26-7). En textos previos hemos argumentado que la nuclearidad mexicana se construyó en buena parte como un proyecto de desnuclearización y de pacificación de los usos de la energía atómica, en el contexto de los programas de desarrollo y asistencia técnica, así como de la promoción del Tratado de Tlatelolco para la no proliferación de armas atómicas <sup>12</sup>.

En consonancia con las preocupaciones de Hecht, el tercer objetivo de nuestro artículo es comenzar a analizar los intercambios asimétricos entre Norte y Sur, específicamente entre Estados Unidos y México. La literatura sobre los radioisótopos como instrumento de la política exterior norteamericana durante la Guerra Fría se ha centrado en los intercambios entre Estados Unidos y Europa (Creager, 2002, 2009; Creager y Santesmases; 2006, Krige, 2006; Herrán, 2006; Santesmases, 2006). En esos casos, Estados Unidos reconocía las contribuciones científicas europeas y trataba a sus aliados continentales en condiciones de reciprocidad. Ello no ocurría con el resto del mundo, como haremos ver con el caso mexicano.

Nuestro trayecto inicia con el contexto internacional que hizo posible la distribución de radioisótopos tras el inicio de la Guerra Fría (sección 1). Esto nos llevará (sección 2), a los eventos que cristalizaron en la creación de la Comisión Nacional de Energía Nuclear (CNEN) en 1956. No por ello esta parte de la historia ocurrirá dentro de las fronteras nacionales: la CNEN nace en consonancia con la implementación del programa Átomos para la Paz (*Atoms for Peace*), mediante la intervención de instituciones (la UNAM y la Compañía de Luz y Fuerza Motriz) y científicos mexicanos (notoriamente el rector Nabor Carrillo), así como universidades, fundaciones y agencias gubernamentales norteamericanas. La primera etapa del programa Átomos para la Paz consistía en la formación de científicos de países considerados “menos desarrollados” en instituciones norteamericanas y europeas. Como veremos en la sección 3, en la segunda mitad de los años cincuenta se llevan a cabo los primeros proyectos de investigación sobre lluvia radiactiva, los cuales se insertan en las preocupaciones políticas que el mundo vivía en ese periodo (notoriamente, las pruebas atómicas atmosféricas). Posteriormente, a fines de los sesenta e inicios de los setenta, la CNEN (sección 4) se convertirá en el principal productor y distribuidor de radioisótopos en el país y se expandirán sus usos a la investigación cientí-

fica. La sección 5 se enfoca brevemente en las vicisitudes de la distribución nacional de radioisótopos. Los distintos trayectos de distribución y uso de estos materiales en México nos revelan significados y procesos históricos que reflexionaremos en las conclusiones.

#### LA DISTRIBUCIÓN ESTADOUNIDENSE DE RADIOISÓTOPOS Y "ÁTOMOS PARA LA PAZ"

El programa de distribución de radioisótopos que inicia en 1946-47 constituye un antecedente importante para el programa de promoción de los usos pacíficos de la energía atómica, "Átomos para la Paz" (Creager, 2002, 2009; Krige, 2006; Creager y Santesmases, 2006). Dicho programa fue anunciado ante la Asamblea General de la ONU el 8 de diciembre de 1953 por Dwight D. Eisenhower, Presidente de los Estados Unidos. Creager señala que "los radioisótopos representaban los esfuerzos del gobierno estadounidense para emplear el poder del átomo para la paz <sup>13</sup>" (2009, p. 220).

A partir de los años treinta habían comenzado a distribuirse de manera informal en Estados Unidos y Europa radioisótopos producidos en los ciclotrones de la época, para su uso en la medicina con fines terapéuticos y de diagnóstico; y a partir de los años cuarenta en la investigación biológica. Tras el fin de la Segunda Guerra Mundial, los radioisótopos simbolizaban los usos de la energía atómica para la vida, en contraste con los usos letales de la bomba atómica (Creager, 2013). Este simbolismo "pacífico" y vital de los radioisótopos va a viajar con ellos simultáneamente con su materialidad. En efecto, una de las características que hizo posible e importante el programa de distribución que inicia tras la guerra fue la portabilidad de sus usos y significados.

En el verano de 1946, el Congreso de los Estados Unidos aprueba la *Atomic Energy Act*, que mandataba la creación de una agencia civil con fuerte control y supervisión militar (*Atomic Energy Commission*, AEC). La *Atomic Energy Act* tenía como objetivo proteger, o al menos extender el monopolio atómico estadounidense, y por ello prohibía explícitamente la exportación de material "fisionable" (Creager, 2009, p. 220). Sin embargo, la nueva ley también autorizaba la distribución de "materiales secundarios" (*byproduct materials*) producidos en reactores con fines pacíficos. Bajo el supuesto de que primero debían ser cubiertas las necesidades domésticas, este anuncio del gobierno ocasionó un embargo de un año a la distribución de radioisótopos fuera de las fronteras nacionales de los Estados Unidos.

La intervención del gobierno estadounidense en la distribución de radioisótopos colocó a estos materiales como un asunto de seguridad nacional y alteró las redes de distribución informal que habían operado

antes de la guerra. Paradójicamente, en 1947 las autoridades militares de los Estados Unidos compartían con los científicos la opinión de que los radioisótopos excedentes debían distribuirse a países europeos y Canadá. Pero la administración de Harry S. Truman no estaba convencida. Tras una serie de audiencias en el Congreso, los cinco comisionados de la recién creada AEC votaron (de manera no unánime) a favor de la exportación a Europa, bajo el argumento de que el Plan Marshall requería reanimar a la devastada ciencia europea. Tanto Robert Oppenheimer como otros científicos habían también testificado a favor de la obligación moral que Estados Unidos tenía con los científicos europeos, al mencionar que era en ese continente donde se habían descubierto, estudiado y manipulado por primera vez los radioisótopos. Más aún, los científicos estadounidenses argumentaban que sus colegas europeos los veían con recelo y opinaban que la secrecía y el mando militar estadounidense eran similares al control soviético. El embargo de radioisótopos, por tanto, no estaba ganando amigos a Estados Unidos ni siquiera entre sus aliados. Así pues, en el otoño de 1947 se inicia la exportación de radioisótopos desde los Laboratorios Clinton en Tennessee, que en 1948 se transforma en el Oak Ridge National Laboratory (Rader, 2006). Si bien el primer cargamento se envió a Australia, el mayor número de envíos en los primeros dos años se destinó a países europeos (para una lista completa ver Creager, 2002). Los primeros destinatarios latinoamericanos fueron Brasil, Argentina, Colombia y Chile en 1947. México, como ya mencionamos, los recibió por primera vez en 1949.

Los pedidos de radioisótopos a Oak Ridge debían hacerse a través de canales diplomáticos, mediante un formato oficial que especificaba los usos permitidos de estos materiales en su lugar de destino. Básicamente, éstos debían ser utilizados con fines médicos y de investigación. Los usos industriales no estaban permitidos en los primeros años. Al recibir materiales radiactivos los países se comprometían a permitir la entrada de inspectores estadounidenses a sus instalaciones en cualquier momento, y a compartir los resultados de investigación obtenidos con la ayuda de estos materiales. Los radioisótopos cumplían así un papel polivalente: eran “emisarios” de buena voluntad y símbolo de los usos benéficos de la energía atómica, al tiempo que eran instrumentos de control y poder mediante los cuales se buscaba asegurar la hegemonía científica estadounidense. En esto compartían el carácter general de la colaboración científica internacional de los Estados Unidos como un instrumento crucial de la política exterior y de seguridad nacional en el periodo (Miller, 2006; Krige, 2006).

Tras la explosión de la primera bomba atómica de la URSS, en 1949, quedó claro que los Estados Unidos ya no tenían el monopolio atómico en términos militares. Además, a inicios de los cincuenta Canadá y el Reino Unido se unieron a los Estados Unidos como productores y distribuidores

de radioisótopos. Canadá tenía un reactor que funcionaba cerca de Ontario desde 1945, mientras que el reactor de la autoridad atómica británica comenzó a funcionar en 1954. Era claro, para los Estados Unidos, que pronto perderían también el monopolio de la distribución de radioisótopos. Más aún, los primeros años de la década de los cincuenta marcaron el inicio de la carrera armamentista nuclear y el aumento exponencial de pruebas atómicas. Es en este contexto en el que Eisenhower pronuncia el mencionado discurso ante la Asamblea General de la ONU.

El discurso planteaba la creación de un nuevo organismo internacional de energía atómica, la *International Atomic Energy Agency* (IAEA), y proponía que los países nuclearizados contribuyeran con material radiactivo y recursos económicos y técnicos al desarrollo de los usos pacíficos de la energía atómica alrededor del mundo. Ello requería la creación de organismos atómicos nacionales que fungieran como enlaces de todos los aspectos (acuerdos bi y multilaterales, asistencia técnica, etc.) relacionados con lo nuclear. Muchos de esos organismos fueron creados antes o en consonancia con la formalización del organismo internacional en 1957. Es el caso mexicano, cuya ley que crea la Comisión Nacional de Energía Nuclear (CNEN) es publicada el 31 de diciembre de 1956 para entrar en operaciones el 1 de enero de 1957<sup>14</sup>. Por otro lado, con el impulso de Átomos para la Paz se organizó y llevó a cabo primera reunión internacional sobre usos pacíficos de la energía atómica en Ginebra, Suiza (*Geneve Conference on Peaceful Uses of Atomic Energy*), del 8 al 20 de agosto de 1955. Dicha conferencia permitió la reunión de científicos de todo el mundo por primera vez desde el fin de la guerra y sirvió como un escaparate del desarrollo nuclear de los países, en especial la tecnología de reactores ahora relativamente “abierta” para sus usos pacíficos en la generación de energía eléctrica y otros. En la delegación mexicana a Ginebra participaron Manuel Sandoval Vallarta (ver Minor este volumen), Fernando Alba Andrade (sección 2) y Carlos Graef.

## 2. LA NUCLEARIDAD MEXICANA Y EL *FUND FOR PEACEFUL ATOMIC DEVELOPMENT*. LA CREACIÓN DE LA CNEN

La nuclearidad mexicana no comienza con la creación de la CNEN. El inicio del proceso puede entenderse mejor desde la pronta reacción del gobierno mexicano al bombardeo de Hiroshima y Nagasaki. El 22 de agosto de 1945, el secretario de Economía Nacional declaró la incorporación de los yacimientos de uranio, torio, actinio y demás elementos radiactivos a las reservas mineras nacionales. Un posterior decreto de 1946 estableció que dichos yacimientos sólo podían ser explotados por el gobierno federal, reglamentando el hallazgo y explotación de esos materiales en la industria

minera (Vélez Ocón, 1997, p. 11). Finalmente se aprueba la llamada “Ley Alemán” que declara “reservas mineras nacionales los yacimientos de uranio, torio y demás sustancias de las cuales se obtengan isótopos hendi- bles que puedan producir energía nuclear” (*Diario Oficial de la Federación*, 26 de enero de 1950).

Tras la guerra, México se encontraba en un periodo de auge “moderni- zador” bajo la presidencia de Miguel Alemán (1946-1952). Uno de los más grandes proyectos de su presidencia fue la construcción del nuevo campus de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en el sur de la Ciudad de México. El campus encarnaba las visiones de modernidad centradas en el impulso a las ciencias, en particular la manipulación del átomo. Es en este contexto que un pequeño grupo de científicos, entre los que se encontraban Nabor Carrillo Flores (entonces coordinador de la investigación científica de la UNAM) y Manuel Sandoval Vallarta (director de la recién creada Comisión Impulsora y Coordinadora de la Investiga- ción Científica, CICIC) promueven la adquisición de un acelerador Van de Graaff, símbolo de esa modernidad alemanista (Minor, 2011, Mateos, et al., 2012). El acelerador se adquiere para las nuevas instalaciones del Instituto de Física, y de hecho uno de los primeros edificios en construirse en el nuevo campus fue el Laboratorio Van de Graaff. Alrededor de él comienza a formarse una pequeña comunidad de físicos nucleares y, posteriormente, en otras áreas que van a integrarse a los programas y políticas de Átomos para la Paz (ver figura 1)

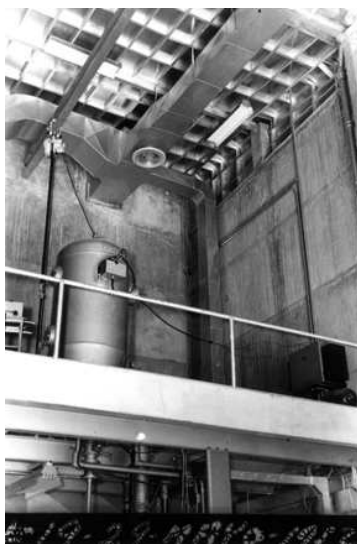


FIGURA 1. Acelerador Van de Graaff, Ciudad Universitaria, México. Archivo Histórico de la Universidad Nacional Autónoma de México (AHUNAM).

En los Estados Unidos, una de las primeras acciones de Átomos para la Paz consistió en promover la formación de científicos e ingenieros nucleares provenientes de un grupo de países seleccionados en universidades norteamericanas. Un aspecto poco estudiado y notado por los historiadores es que el programa estadounidense fue puesto en marcha por una coalición de fondos privados y universidades con diferentes agencias del gobierno federal. Estas últimas incluían, sobre todo, al Departamento de Estado y la *Foreign Operations Agency* (FOA) a través de sus representantes en las embajadas norteamericanas<sup>15</sup>. El *Ford Fund* (distinto a la *Ford Foundation*) fue creado días después del discurso de Eisenhower, mientras que el *Fund for Peaceful Atomic Development Inc.* (FPAD) aglomeraba capital filantrópico de numerosas empresas con intereses transnacionales y universidades norteamericanas (Mateos y Suárez-Díaz, en prensa). Si bien las oficinas centrales del FDAP se encontraban en Detroit, funcionaba en estrecha relación con el *Phoenix Project Memorial* creado en 1948 en la Universidad de Michigan en Ann Arbor. De hecho, su director general (*managing director*) era también el decano de la Escuela de Leyes de la Universidad de Michigan, E. Blythe Stason. El proyecto Phoenix, como se le llamó, cumplió un papel crucial en la implementación de la política de usos pacíficos de la energía atómica de los Estados Unidos hacia el resto del mundo y particularmente en México<sup>16</sup>.

Entre el 31 de mayo y el 5 de junio de 1955, una delegación norteamericana encabezada por Stason y Henry Gomberg (profesor de ingeniería nuclear de la Universidad de Michigan) llegó a México para promover el trabajo del FDAP. Entre sus objetivos se encontraba el

establecer acuerdos con la Universidad de México, la Compañía de Luz y Fuerza Motriz, la oficina local de la FOA, industriales y científicos interesados para estimular y asistir técnicamente al pueblo de México para embarcarse en un programa educativo y de laboratorio en torno a las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear<sup>17</sup>.

La visita fue un éxito para ambas partes. Nabor Carrillo era ya para entonces rector de la UNAM y el más activo promotor de la energía atómica en México. El reporte del viaje que se elabora para los miembros del FDAP, y que Stason renvía al Departamento de Estado de los Estados Unidos, narra que tras la reunión en las oficinas de la rectoría del 1 de junio:

El Dr. Carrillo concluyó la reunión con un pronunciamiento inusualmente ferviente y positivo del deseo de los miembros de la universidad de participar en el desarrollo de los usos pacíficos de la energía atómica. Su pronunciamiento fue de lo más elocuente y efectivo<sup>18</sup>.

Un resultado inmediato del acercamiento (que había iniciado en abril de ese año) fue que en el verano de 1955 ocho estudiantes mexicanos fueron

enviados a estudiar ingeniería nuclear a la Universidad de Michigan en Ann Arbor: Bruno de Vecchi Appendini, Carlos Vélez Ocón (ambos de la Compañía de Luz), Arnulfo Morales Amado, Vinicio Serment Cabrero (de la UNAM), Antonio Magaña Plaza (del Instituto Politécnico Nacional), Miguel Angel Barberena Vega, Luis Gálvez Cruz (de la Universidad de Veracruz), y Roberto Treviño Arizpe por el gobierno estadounidense (Vélez Ocón, 1997). Cinco becas provenían de la Compañía de Luz, dos de la UNAM, una del IPN y dos del Estado de Veracruz. Para los estadounidenses una de las prioridades era la distribución de la tecnología y la apertura de mercados para los reactores nucleares (para usos energéticos y de investigación) a países con incipiente nuclearidad y de interés geopolítico. En esos términos, México aparecía como un destinatario ideal.

Tras la reunión de Ginebra un par de meses después (agosto de 1955), Estados Unidos se había replanteado su plan de acción y prioridades para la distribución de reactores (Krige, 2006). Según un memorándum del 20 de octubre de 1955, dirigido a W. Keneth Davis, director de la División de Desarrollo de Reactores de la AEC por el director Stason, la asistencia técnica norteamericana era innecesaria para países avanzados como el Reino Unido, Bélgica, Francia, Noruega y Holanda; dicha ayuda, sin embargo, podía llegar de inmediato a Dinamarca, Japón, España e Italia. Otro grupo, al que se referían como menos desarrollados (*"the less developed countries"*), incluía dos países: India y Brasil, que avanzaban rápidamente en el campo nuclear y que eran "los candidatos lógicos más cercanos para adquirir reactores de potencia". Después de estos dos,

un grupo de aproximadamente ocho países que merecen atención para el desarrollo inmediato de un programa a largo plazo, incluyendo, como primera fase, reactores de investigación y centros de isótopos. Éstos incluirían a Turquía, México, Argentina, Filipinas, Pakistán, Israel, Yugoslavia y Tailandia. Argentina ha sido incluida en este último grupo, pero muy bien podría ser incluida con India y Brasil tras estudios posteriores <sup>19</sup>.

En ese mismo marco del programa Átomos para la Paz, la URSS, a través de su embajada en México, ofreció en julio de 1956 becas "para formar los cuadros... en el empleo de la energía atómica con fines pacíficos... y admitir estudiantes en las facultades de física de la URSS". Se especificaba también:

Los gastos de enseñanza de los estudiantes correrán a cargo de la URSS. Los estudiantes recibirán becas, una subvención para adquirir libros de texto y materiales escolares, la subvención para su tratamiento médico en sanatorios y para pasar sus vacaciones en la URSS; en caso necesario, se concederá una subvención para adquirir ropa; se asegura el servicio médico gratuito y alojamiento gratuito en la residencia de estudiantes <sup>20</sup>.

Pese al ofrecimiento soviético, la mayoría de los físicos e ingenieros mexicanos se formaron en Estados Unidos. Más aún, además de los estudios de posgrado relacionados con reactores nucleares, los científicos mexicanos también participaron en los primeros cursos sobre técnicas de radioisótopos impartidos en Oak Ridge a partir de 1954, otra más de las consecuencias del programa Átomos para la Paz <sup>21</sup>. El físico Fernando Alba Andrade fue el primer mexicano en asistir, en 1954, seguido por el químico Augusto Moreno Moreno y el físico Ariel Tejera en 1955. Son ellos quienes elaboran el Manual de Técnicas de Radioisótopos que se utilizará en los cursos mexicanos impartidos a partir de 1958 por la UNAM en colaboración con la CNEN (ver figura 2). Con la creación de la IAEA en 1957 aumentan notablemente las fuentes de financiamiento para especialistas nucleares en Latinoamérica, con énfasis en el uso de radioisótopos en la agricultura, medicina y otros usos pacíficos <sup>22</sup>.



FIGURA 2. Cursos de radioisótopos en las instalaciones de la CNEN, México. Archivo del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares.

Al regresar a México, esa primera generación de científicos nucleares pone en marcha los proyectos de investigación y la creación de laboratorios y grupos de trabajo en el Instituto de Física de la UNAM y la CNEN. Por ejemplo, Augusto Moreno, después de haber realizado una estancia en el Laboratorio de William Libby, en la Universidad de Chicago, y haber datado por primera vez muestras arqueológicas (Moreno, 1955), funda el laboratorio de Radioquímica de  $^{14}\text{C}$  (carbono 14) de la UNAM, auspiciado

por el entonces director del Instituto Nacional de Antropología e Historia, el arqueólogo Alfonso Caso.

### 3. LLUVIA RADIATIVA EN MÉXICO

Mientras tanto, el 3 de diciembre de 1955 la Asamblea General de la ONU adopta una resolución que establece el comité de las Naciones Unidas para el estudio de los efectos de las radiaciones atómicas, con atención particular a la lluvia radiactiva. Este comité estaba conformado por dieciséis países, entre ellos México, y se crea en un contexto en el cual se habían incrementado exponencialmente las detonaciones de pruebas atómicas (norteamericanas, británicas y soviéticas) y la carrera armamentista. Krige señala que mientras en 1952 Estados Unidos contaba con 841 armas nucleares, para 1960 (al final de la presidencia de Eisenhower) el número había aumentado a 18,638 (2006, p. 162). La preocupación en torno a los efectos nocivos de la radiación alrededor del mundo había aumentado tras el incidente del *Lucky Dragon* en 1954 en el atolón de Bikini, cuando tras la primera explosión termonuclear atmosférica, los tripulantes de un barco japonés pesquero fueron expuestos a la lluvia radiactiva. Todos ellos sufrieron efectos nocivos y uno falleció. Esto dispara innumerables estudios en torno a los movimientos de la radiación en la atmósfera y sus efectos biológicos, con un impacto en numerosas disciplinas científicas como la ecología, la genética, la meteorología y la oceanografía (Bocking, 1995; Hamblin, 2009; De Chadarevian, 2006; Rader, 2006; Creager, 2013).

En marzo de 1956, la delegación mexicana que asistió a la primera reunión del comité de la ONU estuvo encabezada por Manuel Martínez Báez (médico miembro del comité de expertos en la creación de la Organización Mundial de la Salud), Horacio Zalce Torres (oncólogo fundador de la Sociedad Mexicana de Estudios Oncológicos) y Fernando Alba Andrade (director del Instituto de Física de la UNAM desde 1957). La investigación sobre lluvia radiactiva se inicia en el Instituto de Física de la UNAM por encargo de la ONU a través de la recién creada CNEN<sup>23</sup>. El primer reporte se publica en 1956, y resume los resultados obtenidos por Fernando Alba, Virgilio Beltrán, Tomás Brody, Hugo Lezama, Ariel Tejera, Augusto Moreno y Manuel Vázquez Barette, este último miembro de las fuerzas armadas<sup>24</sup>. Los objetivos eran:

- a) Determinar la actividad beta artificial precipitada por unidad de área y la actividad acumulada total presente en la superficie de la Tierra al terminar cada periodo. Determinar además las concentraciones de los nucleidos más importantes, como <sup>90</sup>Sr y <sup>137</sup>Cs.
- b) Estudiar los métodos de recolección y estimación con el fin de permitir la comparación de diversos métodos y poder recomendar un procedimiento

uniforme en su proyectada sesión de ese año <sup>25</sup> (Alba Andrade, et al., 1956, p. 154).

Estudios previos habían mostrado que distintos radioisótopos eran incorporados en diferentes tejidos orgánicos (el estroncio se acumulaba en huesos) y se concentraban en alimentos como la leche (el cesio). De forma general se habían propuesto métodos que eran sencillos para tomar pocas muestras y que “requerían de materiales de fácil acceso en cualquier parte del mundo” (ibid., p. 157). En la reunión de la ONU se había distribuido para ello el manual de Merrill Eisenbud, quien era director del *Health and Safety Laboratory* de la AEC <sup>26</sup> (Eisenbud, et al., 1956). Con todo, cada equipo en este *itinerario* (Safier, 2010) mundial, tenía que adaptar sus propios dispositivos a su situación particular.

Los nuevos edificios del recién inaugurado campus de Ciudad Universitaria sirvieron como escenario para las primeras detecciones de radioisótopos atmosféricos: primero el edificio del Laboratorio Van der Graaf, luego la Torre de Ciencias y finalmente el observatorio de Tonanzintla en Puebla. Los mexicanos, como lo sugería el manual, aplicaron el método de las “hojas engomadas” y el de superficie de agua. Lo mundano de estas primeras tecnologías y prácticas se refleja en la descripción de las mediciones que se llevaron a cabo entre mayo y agosto de 1956: cintas engomadas de la marca “Minnesota Manufacturera” se pegaban a “un marco de hojalata” sobre un soporte de metal (ver figura 3). Se exponían al aire libre por un periodo de 24 o 48 horas. Una vez que se recogían las hojas, se calcinaban y con diferentes métodos se separaban elementos. Las mediciones se llevaban a cabo con dos dispositivos diferentes para comparar resultados: un contador Geiger-Muller de la marca “Nuclear Chicago” y dos de la marca “Anton”.

Los resultados del grupo mexicano señalaban la presencia de “picos” de material radiactivo producidos por las “explosiones en Bikini y el mar Australiano” (1956, p. 159). Asimismo, indicaban la afectación de la altura entre Tonanzintla (Puebla) y la Ciudad de México, y otros factores que los llevaban a concluir que “la diseminación de los polvos radiactivos de una explosión nuclear es lejos de ser uniforme <sup>27</sup>” (ibid, p. 159), así como que el método de la hoja engomada era igual de eficaz que el del agua fuera de temporada de lluvias (p. 162). En septiembre de 1956 y hasta febrero de 1957, se aumenta el número de estaciones donde se llevan a cabo las medidas. Estas estaciones ahora se localizaban también en Oaxaca, Mérida y Guadalajara. Las muestras se transportaban por vía aérea y eran analizadas en la Ciudad de México por el mismo grupo (Alba, et al., 1957). El tercer reporte presenta las medidas tomadas en doce localidades, e incorpora el análisis de <sup>137</sup>Cs en leche (Brody, et al., 1958). En 1962 se publica el quinto y último informe (Brody, et al., 1962).



Fig. 1

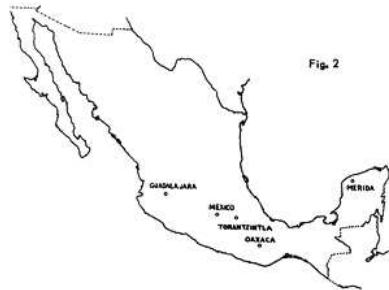


Fig. 2

164

FIGURA 3. Esta imagen aparece en el primer informe de lluvia radiactiva. La primera imagen es el dispositivo del papel engomado y el segundo es el mapa donde se muestran las estaciones donde se tomaron medidas.

Las mediciones incorporaron a los científicos mexicanos en las redes internacionales sobre la lluvia radiactiva y, además, les permitieron crear redes nacionales entre físicos, ingenieros y químicos. También aportaron el contexto en el que se desarrollaron en México los primeros estudios de radioquímica. Así, en septiembre de 1957 se había incorporado al Instituto de Física de la UNAM, la ingeniera química Adelaida Palacios, invitada por Tomás Brody. Su investigación se centró en la separación del  $^{90}\text{Sr}$  en la leche y otros materiales orgánicos. “Como resultado de esas investigaciones se publicó en la *Revista Mexicana de Física* lo que es considerado como el primer artículo de radioquímica en México” (Palacios, et al., 1959; Bulbulián y Rivero, 2012, p. 20). Un año después se unió al grupo una segunda radioquímica, Ana María Martínez. Adelaida Palacios falleció en 1959, sin embargo, la radioquímica mexicana continuó con una fuerte presencia de mujeres.

#### 4. MUJERES, PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN NACIONAL DE RADIOISÓTOPOS

En 1961 se crea el Laboratorio de Dilución de Radioisótopos y de Patrones Radiactivos de la CNEN dirigido por el docto Ariel Tejera. Ahí participaban la ingeniera química Ninfa Guerrero, la maestra en ciencias Ana María

Martínez Leal y la química y física Silvia Bulbulián Garabedián <sup>28</sup> (Bulbulián y Rivero, 2012). En años posteriores fue dirigido por María Eugenia Ramírez de Arellano, después por Silvia Bulbulián y a inicios de los setenta estaba a cargo de Ninfa Guerrero. Dentro del mismo laboratorio se crea el grupo de química nuclear a cargo de María Eugenia Ramírez de Arellano de Halter, Silvia Bulbulián y Guadalupe Domínguez, asesorado frecuentemente por Henry Maddock, del grupo de radioquímica del Departamento de Química de la Universidad de Cambridge, quien viajaba con fondos de asistencia técnica de la IAEA. Otras mujeres que se incorporan posteriormente fueron Nuria Segovia, Dolores Tenorio, Suilma Marisela Fernández Valverde y Melania Jiménez Reyes (Bulbulián y Rivero, 2012). Este grupo, que destacó por estar conformado por mujeres, se convirtió en el principal foco de preparación, producción y distribución de radioisótopos en México.

El primer radioisótopo importado por la CNEN se compró a Canadá en 1962 y, una vez más, se trataba de <sup>131</sup>I para usos médicos en el IMSS. Casi al mismo tiempo se fabrica lo que parece haber sido el primer radioisótopo artificial producido en México, como resultado de la tesis de licenciatura en física de Silvia Bulbulián, quien utilizó el reactor experimental de la exhibición “Átomos en Acción” (2 de abril a 1 de mayo de 1962) para producir también <sup>131</sup>I (Bulbulián, 1963). La exhibición formaba parte de las acciones de la AEC organizadas alrededor del mundo por la *United States Information Agency* <sup>29</sup> (USIA).

Todavía en la década de los sesenta, Oak Ridge seguía siendo un importante proveedor para los mexicanos. En 1964 se reportaban como clientes mexicanos la Comisión Nacional de Energía Nuclear (<sup>137</sup>Cs), el Hospital de Enfermedades de la Nutrición (<sup>91</sup>Y, iridio 91), y las compañías privadas Control de Calidad S. A. (<sup>137</sup>Cs), Nuclear S. A. y Siemens Mexicana <sup>30</sup> (<sup>137</sup>Cs). El Laboratorio de Dilución importaba y compraba “en plaza, material radiactivo que se diluye, normaliza, acondiciona y distribuye entre los usuarios de todo el país” (Memoria de Labores de la CNEN, 1969, p. 38).

La situación comenzó a cambiar a fines de 1968 con la puesta en marcha del reactor de investigación Triga Mark III que, pese a las intenciones originales del Proyecto Phoenix y la Universidad de Michigan de construir uno con sus características en México (sección 3), se había adquirido por mediación de la IAEA en los Estados Unidos. El reactor fue instalado en el Centro Nuclear de Salazar (que se empezó a construir en 1964) y alcanzó criticidad el 8 de noviembre de 1968. A partir de entonces, la importación dejó de ser gradualmente la única fuente de aprovisionamiento de radioisótopos.

Durante el primer año de funcionamiento del reactor se produjeron <sup>24</sup>Na (sodio 24), <sup>99</sup>Mo (molibdeno 99), <sup>99</sup>Tc (tecnecio 99), <sup>131</sup>Y, <sup>198</sup>Au (oro 198), <sup>18</sup>F (flúor 18), <sup>87</sup>Sr (estroncio 87). Algunos de ellos se produjeron para

usuarios específicos. Por ejemplo, el tecnecio se fabricó para el Hospital de Enfermedades de la Nutrición, mientras que el sodio fue para el Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados (CINVESTAV) del IPN. No obstante la producción nacional, durante el periodo 1968-1969 “se importaron 28 diferentes isótopos en 1,100 envíos distintos, con una actividad total de 144.18 curies, de los cuales llegaron en fuentes abiertas 79.18 curies y 65 curies en fuentes selladas” (ibid, p. 38).

Muy pronto la CNEN comenzó a producir, además de radioisótopos, moléculas marcadas con propósitos de diagnóstico médico e investigación. Se producían siete tipos de compuestos biológicos marcados con  $^{137}\text{I}$  y comienza a trabajarse en la marcación de medios de contraste radiográfico. Gracias a la asistencia técnica de la IAEA se habían mejorado en el Laboratorio de Productos Radiofarmacéuticos de la División de Medicina Nuclear los métodos de marcación y se habían implementado otros nuevos que permitían la producción de nuevos compuestos. Asimismo, se produjeron por primera vez radioisótopos de vida media muy corta (que por sus características no podían ser importados, ya que pronto perdían su radiactividad). Éstos incluían el  $^{18}\text{F}$  (flúor 18) y el  $^{87}\text{Sr}$  (estroncio 87), que se utilizaban también en diagnósticos médicos (ibid., P. 36). Más importante aun es que el reporte menciona la relevancia de estos compuestos no sólo en el tratamiento y diagnóstico de enfermedades, sino en la investigación, es decir, “en el estudio de los procesos biológicos y en las posibilidades que ofrecen para seguir el ciclo vital de los vectores de determinadas enfermedades  $^{31}$ ” (Reporte de actividades CNEN 1968-1969, p. 36).

##### 5. PESOS, SALDOS Y EL MAPA NACIONAL DE DISTRIBUCIÓN DE RADIOISÓTOPOS

Para 1968, la distribución nacional de radioisótopos diluidos de la CNEN había alcanzado 3,360 pedidos distintos, que correspondían a 67 usuarios de diversas partes de la República. Si bien el consumo se concentraba en el Distrito Federal, los estados de Puebla, Guanajuato y Nueva León realizaban también una cantidad considerable de los pedidos. La manipulación de radioisótopos se había incrementado en un 76.7% respecto al año anterior (Reporte ibid., p. 39). El crecimiento del consumo había sido notable en los primeros años de producción nacional y continuó así en las siguientes décadas. De acuerdo con Silvia Bulbulián,

durante la primera parte de ese año (1962) la cantidad promedio de  $\text{I}^{131}$  comprada por hospitales privados y públicos fue de 30mCis al mes, mientras que al final del año fue de 115mCis al mes. Esta cantidad fue creciendo, y en 1967 esa cantidad era de 2000mCis/mes, en 1997 se vendían 60 dosis de  $\text{I}^{131}$  con una actividad total de 28 000 039 000mCi por mes (Bulbulián, 2012, p. 20-21).

Como puede notarse, el principal consumidor era el sector médico. El aumento de la distribución nacional de radioisótopos se refleja no sólo en la cantidad de las ventas, sino en la diversificación de los usuarios a inicios de la década de los setenta. Entre 1970 y 1974, los compradores seguían concentrados en el sector médico, pero ahora también se extendían a la investigación. Los hospitales del sector público constituían la principal clientela de radioisótopos y compuestos marcados. El Instituto Nacional de Cancerología, los hospitales del Instituto Mexicano del Seguro Social en la Ciudad de México, Puebla y Monterrey, el Instituto Nacional de Nutrición, la Secretaría de Salubridad y Asistencia, son algunos de los veinte hospitales que contaban con una "cuenta" en la administración de la CNEN. Médicos particulares, industrias y laboratorios farmacéuticos y de análisis clínicos, constituyen un segundo tipo de usuario ligado a las aplicaciones médicas. Por otra parte, destaca la presencia de instituciones de investigación como el Instituto Mexicano del Petróleo (para datación geológica), el CINVESTAV, y varios institutos de la UNAM, como el Instituto de Investigaciones Biomédicas (recién creado), el Instituto de Física y la Facultad de Medicina <sup>32</sup>. La dimensión de estas transacciones demandó, por un lado, el establecimiento de un sistema de distribución y, por otro, el crecimiento del aparato administrativo y contable.

A diferencia de los laboratorios nacionales en los Estados Unidos, alrededor de los cuales se asentaban las viviendas de trabajadores e investigadores (ver Kaiser, 2004), el Centro Nuclear de Salazar se encontraba lo suficientemente cerca de la Ciudad de México como para no requerir la mudanza de su personal, pero suficientemente lejos como para que desde sus inicios se haya implementado un detallado programa de transporte y control de la asistencia del personal <sup>33</sup>. Como mencionamos antes, el Laboratorio de Dilución se había mudado a las instalaciones de Salazar en 1966; al igual que el grupo de reactores y el grupo de química nuclear, el grupo de dilución requería trabajar cerca del reactor Triga Mark. Se había conservado una sucursal de ventas y administración en las viejas oficinas de la CNEN (que en 1972 cambió su nombre a Instituto Nacional de Energía Nuclear, INEN), situadas en la calle de Insurgentes en el sur de la Ciudad de México, lo que facilitaba a proveedores y consumidores las transacciones.

Es difícil conocer el precio de los radioisótopos que distribuía la CNEN-INEN en estos años. Los documentos del Archivo General de la Nación (México) guardan centenas de oficios correspondientes a las cuentas individuales de usuarios, y dan cuenta de cheques depositados, transferencias bancarias, facturas, saldos a cuenta o en deuda, y aclaraciones, pero pocos detalles acerca del contenido y aplicaciones de esos envíos. Un excepcional documento de la cuenta del Hospital Infantil de México señala que al 17 de marzo de 1971 el precio de .01mCi de <sup>131</sup>I era de 110 pesos; en compa-

ración, un horno de secado costaba 2,884 pesos; y una balanza analítica 18,553<sup>34</sup>. Lo que sí permite el acervo del archivo nacional es dimensionar el interés, traducido en burocracia contable y tecnologías de papel, que acompañó a la distribución de materiales radiactivos dentro del territorio nacional y, en concreto, en los centros urbanos del centro y norte del país (Puebla, Guanajuato, Nuevo León, Coahuila, además de la Ciudad de México).

En el marco de las regulaciones y el sistema de salvaguardas internacionales establecidas por la IAEA, y posteriormente el Tratado de Tlatelolco firmado en 1967, la CNEN-INEN concentró —y controló— la distribución de materiales radiactivos que había iniciado con el programa estadounidense desde 1947.

#### CONCLUSIONES

Hasta ahora, los estudios históricos sobre la distribución de radioisótopos se han concentrado en los intercambios entre los Estados Unidos y Europa. No se ha explorado aún la movilización de esos materiales y todas las prácticas asociadas a ellos (formación de investigadores y personal calificado, uso y construcción de instrumentos, etc.) entre Estados Unidos (y otros proveedores), y los países latinoamericanos y asiáticos, por no mencionar africanos. Si bien existen excelentes estudios sobre la nuclearidad sudafricana (Hecht 2006), india (Phalkey 2013) e iraní (Homayounvash 2012) entre otros, carecemos de estudios de caso sobre la distribución de radioisótopos fuera de las potencias occidentales. Nuestro ensayo es un primer acercamiento a la historia de los trayectos materiales, así como de las obligaciones que conllevaba de manera explícita e implícita el tránsito de radioisótopos en el cruce de la frontera Norte-Sur. Queremos sugerir que dichos intercambios requieren un enfoque historiográfico amplio que desarrollaremos en otro lugar (Mateos y Suárez-Díaz, en prensa). Dicho enfoque debe incorporar el eje de los programas de desarrollo dirigidos al Tercer Mundo —vigentes desde la década de los cincuenta— así como otros movimientos relevantes (i.e., el de los países no alineados, el de la no proliferación de armas atómicas). Aquí presentamos algunas ideas a desarrollar en el futuro.

Primero. ¿Cómo entender la naturaleza de los intercambios entre Estados Unidos y México (principalmente)? John Krige (2012) se ha referido a los intercambios *recíprocos* en materia de colaboración científica y tecnológica, entre Estados Unidos y la Gran Bretaña. Este autor argumenta que tales intercambios se dan en un *campo de poder asimétrico*, en el que los Estados Unidos hacen valer su situación geopolítica dominante. Soraya de Chadarevian (2006) relata un caso similar en la información compartida entre Estados Unidos y la Gran Bretaña. Siguiendo a Krige, podemos

afirmar que la relación entre México y Estados Unidos era no recíproca y asimétrica. Los documentos del Departamento de Estado, en particular el Proyecto Phoenix, muestran que los estadounidenses clasificaban a México dentro del grupo de “países menos desarrollados” y, en ese grupo, como un candidato “ideal” para recibir asistencia técnica. Los mexicanos, para recibir tal asistencia, primero debían formar cuadros suficientes; debían calificarse como ingenieros nucleares o científicos en lugares como la Universidad de Michigan. Es decir, los estadounidenses y mexicanos no se involucraban en una relación recíproca. México había sido —como el resto de Latinoamérica— un importante aliado durante la guerra, y lo continuó siendo durante la Guerra Fría (ver Joseph y Spenser, 2008). Miller (2006), Krige (2006), Creager (2009) y otros han argumentado acerca de la importancia de la *cooperación* científica como un instrumento de la política exterior norteamericana, en especial hacia Latinoamérica<sup>35</sup>. Sin embargo, no se ha indagado críticamente la “cooperación” técnica con los programas asociados a las políticas del desarrollo, que serán un instrumento crucial en la relación de los Estados Unidos con el Tercer Mundo durante los años de la Guerra Fría (sin embargo, ver Escobar, 1994/2011; Cullather, 2010). Creemos que el programa de distribución de radioisótopos es un excelente lugar para empezar a hacernos esas preguntas.

Segundo. Hemos buscado narrar la historia temprana de la nuclearidad mexicana mediante el rastreo de los radioisótopos que llegaron, se produjeron y distribuyeron en territorio nacional. Como señala Santesmases (2006), los radioisótopos no se mueven solos; al seguirlos, hemos sacado a la luz una gran diversidad de agentes, con funciones y roles distintos en nuestra historia. Además, los radioisótopos viajan con significados y compromisos implícitos (y en ocasiones explícitos) que nos remiten al concepto de “don” de Marcel Mauss (Mauss, 1923-1971, Suárez-Díaz en este volumen). Los radioisótopos implican una alianza política envuelta en manifestaciones de amistad y “cooperación”. También implican supervisión y control del conocimiento que se produce fuera de las fronteras estadounidenses. Para los científicos mexicanos implicaba recursos, prestigio entre sus pares nacionales, crecimiento y consolidación de la comunidad científica, acceso a la toma de decisiones políticas a nivel nacional, participación en foros internacionales, entre otras cosas. Todo esto nos ha llevado a una narrativa que apenas puede seguir los innumerables hilos del proceso histórico de la ciencia mexicana contemporánea. Requerimos una narrativa de niveles múltiples, como ha sugerido Irina Podgorny (Podgorny, 2010). Requerimos, también, como ha planteado Anne-Emmanuel Birn (2012), no escribir la historia a partir de la precisión y riqueza de los archivos estadounidenses, sino incorporar una gran diversidad de fuentes en una narrativa simétrica, que refresque la forma en que se ha escrito la historia de la Guerra Fría (Sivasundaran, 2010).

## AGRADECIMIENTOS

Nuestras ideas sobre la nuclearidad mexicana y la importancia de los radioisótopos en ella se han construido en la lectura y el intercambio de ideas con muchos colegas que nos han antecedido en este campo. Especialmente agradecemos a Angela Creager por su generosidad y apoyo, así como por los muchos intercambios de ideas con ella, y con María de Jesús Santesmases, Karin Zachmann, Jacob Hamblin, John Krige, Jahnvi Phalkey y muchos otros. Queremos agradecer también el apoyo técnico invaluable de Mayari Aguilar, y Mauricio Betancourt, así como de Alicia Villela González y David García. Asimismo, la generosidad de Silvia Bulbulián, Guillermo Espinosa, Eugenio Ley Koo, quienes compartieron sus experiencias. Contamos también con el apoyo de los archivistas del Archivo General de la Nación, el archivo de la IAEA (Viena) y los NARA (Washington, D. C.). La investigación de este artículo fue posible gracias al apoyo de los Proyectos PAPIIT IN303111 (“Genes y átomos en México durante la Guerra Fría”) y IN400314 (“Física y ciencias de la vida en la posguerra: el papel de las relaciones interamericanas en la circulación de conocimiento”), así como el proyecto CONACyT 152879 (“Estandarización e internacionalización de la ciencia en la posguerra”).

- 1 Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades (CEIICH), Universidad Nacional Autónoma de México. Correo electrónico: gisela.mateos@unam.mx.
- 2 Grupo de Estudios de la Ciencia y la Tecnología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Correo electrónico: ednasuarez@ciencias.unam.mx.
- 3 Síndrome caracterizado por altos niveles de hormonas tiroideas en la sangre, aunque no todos los tipos de tirotoxicosis son hipertiroidismo. También se le conoce como “bocio tóxico”.
- 4 U.S. AEC, *Isotopes: A Five-Year Summary of Distribution with Bibliography*, Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1951, p. 337; U.S. AEC, *Eight-Year Isotope Summary*, vol. 7 of *Selected Reference Material, United States Energy Program*. Washington, DC: U.S. Government Printing Office, 1955.
- 5 En este artículo, nos referimos por radioisótopos a los isótopos producidos por reactores y ciclotrones, o como resultado de explosiones atómicas, que son fuentes de radiación. Dejamos fuera de nuestro estudio, por tanto, las fuentes naturales de radiación, como el radio mencionado en el texto, o el mesotorio vendido a México en 1927 por Marie Curie para ser utilizado con fines médicos (Bulbulián y Rivero, 2012, p. 16).
- 6 Entonces era una compañía canadiense que proporcionaba electricidad a la zona central y ciudades del país y cuyo nombre era *The Mexican Light and Power Co*. Su director era Gustave Maryssael, quien jugó un papel destacado en la primera etapa de la “nuclearidad” mexicana (ver sección 2).
- 7 Estamos conscientes de que el término ‘circulación’, como ha sido usado (Secord, 2004) no problematiza las asimetrías geopolíticas y económicas de los trayectos de materiales, instrumentos, personas, etc. (ver Suárez-Díaz este volumen). Krige (2012) problematiza el campo de poder asimétrico entre Estados Unidos y el Reino Unido, pero aún habla de relaciones recíprocas, que no es el caso de la relación entre Estados Unidos y Latinoamérica.
- 8 Caja 20, Acervo de la Comisión Nacional de Energía Nuclear, Archivo General de la Nación.
- 9 “Seguir” a los radioisótopos ha permitido también rastrear-narrar la historia de la meteorología y la oceanografía (Hamblin 2005), de la biología molecular y la genética (De Chadarevian 2006, Creager 2009), de la ciencia española durante el franquismo (Santesmases 2006), de la agricultura en Europa del este (Zachmann 2011), y en general de la biología y la medicina (Creager 2013).
- 10 Nos referimos al “experimento de la licuadora”, realizado por Alfrey Hershey y Martha Chase en 1952, el cual aportó evidencia adicional acerca del papel del DNA como material de la herencia.
- 11 Dice Hecht: “Nuclearity is the degree to which a nation, a program, a policy, a technology, or even a material counted as “nuclear” –was a spectrum, not an on-off condition. Both nuclearity and its implications emerged in substantive ways from the dynamics between cold war and postcolonial visions of the world”.
- 12 Mateos y Suárez-Díaz (2014); Mateos y Suárez-Díaz, 2012, “Tensions between becoming nuclear and promoting denuclearization: Mexican Nuclear Politics, 1950-1970”. Conferencia presentada en “Dark Matters, Contents and Discontents”, Barcelona, Junio 2012. También: Mateos y Suárez-Díaz (en prensa), *Pacificando átomos en México*, México: UNAM.

- 13 "(r)adioisotopes represented the U.S. government's efforts to harness the power of the atom for peace".
- 14 En Mateos y Suárez-Díaz (en prensa) reconstruimos los eventos que condujeron a la creación de la CNEN, desde el punto de vista del contexto internacional y las prácticas científicas, descartando la historia de instituciones que es común en la historiografía de la ciencia mexicana.
- 15 En México, ante la susceptibilidad nacionalista de los gobiernos priistas, la oficina de la FAO se llamó "Office for Technical Assistance", igualmente asociada a la embajada estadounidense y cuyo titular a partir de 1952 (Program Officer) era Ross Moore (General Records of the Department of State RG 59). Ver también la entrevista de Lebourne Spector a Peter M. Cody, ambos asociados a dicha oficina en México en el periodo que nos ocupa (The Association for Diplomatic Studies and Training Foreign Affairs, Oral History Project "Peter M. Cody" Interviewed by Melbourne Spector. Initial interview date: November 1991 Copyright 1998 ADST).
- 16 General Records of the Department of State RG 59. Office of the Secretary Special Asst. To Sec. Of State for Atomic Energy and Outer Space. General Records relating to Atomic Energy Matters, 1948-1962. Box 297 (old box 214), ARC ID 2517138 A 1 Entry 3008-A. National Archives and Record Administration (NARA), Washington, D. C. Ver también Vélez Ocón (1997).
- 17 Report on Trip to Mexico City for the Fund for Peaceful Atomic Development, Inc. , p. 2. Junio 10, 1955. General Records of the Department of State RG 59. Office of the Secretary Special Asst. To Sec. Of State for Atomic Energy and Outer Space. General Records relating to Atomic Energy Matters, 1948-1962. Box 297 (old box 214), ARC ID 2517138 A 1 Entry 3008-A. National Archives and Record Administration (NARA), Washington, D. C.
- 18 "Dr. Carrillo closed the meeting with an unusually fervent and positive statement of the desire of the people of the university to participate in the development of peaceful uses of atomic energy. His statement was most eloquent and effective". Report on Trip to Mexico City for the Fund for Peaceful Atomic Development, Inc. , p. 2. *Ibid.* NARA, Washington, D. C.
- 19 "Following these, would come a group of about eight countries worthy of attention for immediate development of a longer term program including, as the first phase, research reactors and isotope centers. These would include Turkey, Mexico, Argentina, Philipines, Pakistan, Israel, Yugouslavia and Thailand. Argentina has been listed in this latter group, but might very well be included with India and Brazil upon further study". Memorándum de Blythe Stason (Director del FPAD y decano de la Escuela de Leyes de la Universidad de Michigan) dirigido a W. Keneth Davis, director de la División de Desarrollo de Reactores de la US AEC, el 20 de octubre de 1955. General Records of the Department of State RG 59. Office of the Secretary Special Asst. To Sec. Of State for Atomic Energy and Outer Space. General Records relating to Atomic Energy Matters, 1948-1962. Box 297 (old box 214), ARC ID 2517138 A 1 Entry 3008-A. National Archives and Record Administration (NARA), Washington, D. C.
- 20 Folder I11/811(47:72)/26370. Becas para hacer estudios en la Unión de las Repúblicas Soviéticas Socialistas para Estudiantes. Archivo Genaro Estrada de la Secretaría de Relaciones Exteriores, México. El físico mexicano Luis de la Peña probablemente estudió en la Universidad Lomonosov en Moscú un doctorado en física cuántica dentro de ese programa.

- 21 No existen trabajos sistemáticos sobre los cursos ofrecidos en Oak Ridge a extranjeros.
- 22 "In the ten years between 1958 and 1968, total expenditures on technical assistance in Latin America, for experts, equipment and fellowships, was about \$5 million, which was 21% of the total technical assistance provided by the Agency. About 300 experts have been provided in fields ranging from general atomic energy development to the application of radioisotopes. During the same period 440 fellowships have been awarded to Latin American countries and 14 regional training courses have been held in seven different States. A number of special missions have been organized to advise governments on a variety of subjects and nuclear power studies have been made in Argentina and Brazil. Research contracts of a value exceeding \$600,000 have been awarded to 13 countries in the region". Eklund Sigvard (1969) "Treaty of Tlatelolco" *IAEA Bulletin* 11, n. 5: 32-36).
- 23 Llama la atención que ante el reducido número de expertos mexicanos en temas nucleares, la pequeña comunidad se mueve en todos los espacios jugando distintos roles: como delegados ante la ONU, como investigadores de la UNAM y como miembros de la CNEN.
- 24 Vázquez Barete es recordado como testigo de la Secretaría de la Defensa en las instalaciones y proyectos nucleares de esa época por muchos físicos mexicanos. Se había formado como físico en la UNAM y en los años sesenta se especializó en seguridad de reactores nucleares en Harwell, Inglaterra.
- 25 Alba Andrade, et al., 1956, p. 154.
- 26 El manual llevaba por título *Proposed Uniform Procedures for Collection of Fallout Samples* y se distribuyó a los asistentes a la reunión de 1956. Ello ilustra la importancia de pertenecer a las redes internacionales en las que circula el conocimiento.
- 27 Como ha señalado Jacob Hamblin (2005), el rastreo y medición de radioisótopos producidos por las explosiones atómicas aportaron información acerca de las corrientes marinas y atmosféricas, que se encuentran en el origen de la actual meteorología y oceanografía.
- 28 Como los otros laboratorios de la CNEN, el laboratorio de dilución estaba ubicado originalmente en la Ciudad de México, en la calle de Insurgentes Sur, y es uno de los primeros en mudarse a las nuevas instalaciones del Centro Nuclear de Salazar, Edo. de México, en 1966, conservando oficinas de venta y distribución en la Ciudad de México (ver Sección 5).
- 29 La historia de esa exhibición es el objetivo de otro artículo (Mateos y Suárez-Díaz en preparación). En España *Atoms in Action* se inaugura en 1965 (Santemas 2006) y en Irán el 7 de noviembre de 1967 (Mohammad Homayounvash 2012). La exhibición contaba con un reactor de investigación de 10 KW y una fuente de rayos gamma de 1500 Curies de <sup>60</sup>Co.
- 30 List of AEC Radioisotope Customers with Summary of Radioisotope Shipments, FY 1964, p. 52. Shipments 684-688.
- 31 El recuento más completo de los usos de los radioisótopos en la investigación biológica (rastreo de procesos) se encuentra en el reciente libro de Angela Creager (2013).
- 32 Cajas 10-14 del acervo de la CNEN, AGN. Expedientes 386-593.
- 33 Ver caja 2, acervo de la CNEN, AGN.
- 34 Requisiciones del Programa de Tecnología (1972. Caja 20, legajo 841, acervo de la CNEN, AGN.

35 Habría que problematizar también la terminología de la “cooperación”. Miller (2006) y Krige (2006) han hecho ver la doble cara de esta relación, que genera beneficios políticos y científicos a los Estados Unidos. En el caso de relaciones no recíprocas, como las que hemos estudiado en este artículo, no creemos que se deba hablar de cooperación.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alba Andrade, F., et al. (1956), “Primer informe sobre los estudios de lluvia radioactiva”, *Revista Mexicana de Física* 5 (4): 153-66.
- Alba Andrade, F., et al. (1957), “Segundo informe sobre los estudios de lluvia radioactiva”, *Revista Mexicana de Física* 6(2): 97-104.
- Alba Andrade, F., et al. (1959), “Cuarto informe sobre los estudios de precipitación radioactiva”, *Revista Mexicana de Física* 8(1): 61-84.
- Birn, Anne-Emmanuelle, (2012), *Marriage of Convenience*. NY: Rochester Studies in Medical History.
- Bocking, S. (1995), “Ecosystems, ecologists, and the atom: environmental research at Oak Ridge National Laboratory”, *J. Hist. Biol.* 28(1): 1-47.
- Brody, T. A., et al. (1958), “Tercer informe sobre los estudios de la precipitación radioactiva”, *Revista Mexicana de Física* 7(1): 1-26 .
- Brody, T. A., et al. (1962), “Quinto informe sobre los estudios de la precipitación radioactiva”, *Revista Mexicana de Física* 11(1):1-30 .
- Bulbulián, Silvia e Ignacio A. Rivero Espejel (2012), “Historia de la investigación de la radioactividad en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares”, *Bol. Soc. Quím. Méx.* 6(1): 15-26.
- Bulbulián, S (1963), *Producción de Yodo 131*. Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias, UNAM.
- Creager, A. (2002), “Tracing the politics of changing postwar research practices: the export of ‘American’ radioisotopes to European biologists”, *Stud. Hist. Phil. Biol. and Biomed. Sci.* 33: 367-388.
- Creager, Angela (2009), “Radioisotopes as political instruments, 1946-1953”, *Dynamis* 29: 219-240.
- Creager, A. (2013), *Life Atomic: A History of Radioisotopes in Science and Medicine*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Creager y Santesmases (2006), “Radiobiology in the atomic age: Changing research practices and policies in comparative perspective,” *J. Hist. Biol.* 39: 637-647.
- Cullather, N. (2010), *The Hungry World: Americas Cold War Battle against Poverty in Asia*. Cambridge: Harvard University Press.
- De Chadarevian, S. (2006), “Mice and the reactor: the “genetics experiment” in 1950’s Britain”, *J. Hist. Biol.* 39: 707-35.
- Eisenbud, M., et al. (1956), *Proposed Uniform Procedures for Collection of Fallout Samples. Submitted to the UN Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*.
- Escobar, A. (1994/2011), *Encountering Development: The Making and Unmaking of the Third World*. Princeton: Princeton University Press.
- Hamblin, J. (2005), *Oceanographers and the Cold War. Disciples of Marine Science*. Washington: The University of Washington Press.

- Hamblin, J. (2009), "Let there be light... and bread: the United Nations, the developing world, and atomic energy's Green Revolution", *History and Technology* 25(1): 25-48.
- Hecht Gabrielle (2006), "Negotiating global nuclearities: apartheid, decolonization, and the Cold War in the making of the IAEA," *Osiris* 21: 25-48.
- Herrán, N. (2006), "Isotope networks: Training, sales and publications, 1946-1965", *Dynamis* 29: 285-306.
- Homayounvash, M. (2012), "History and Evolutionary Trajectory of the Iranian Nuclear Program". Thesis. Graduate Program. Florida International University.
- Joseph, Gilbert M. (2008), "What we know and should know. Bringing Latin America more meaningfully into Cold War studies," in *In from the Cold: Latin America's New Encounter with the Cold War*. Ed. Gilbert M. Joseph and Daniela Spenser. London: Taylor and Francis, pp. 3-45.
- Kaiser, D. (2004), "The postwar suburbanization of american physics," *American Quarterly* 56(4): 851-88.
- Krige, J. (2006), "Atoms for Peace, scientific internationalism, and scientific intelligence," *Osiris* 21: 161-81.
- Krige, J. (2012), "Hybrid knowledge. The transnational coproduction of the gas centrifuge for uranium enrichment in the 1960s," *British J. for the History of Science* 45(3): 337-57.
- Mateos, G. y E. Suárez (2011), "Mexican science during the Cold War: An agenda for physics and the life sciences", *Ludus Vitalis* 20(37): 47-69.
- Mateos, G. y E. Suárez-Díaz (2014), "Peaceful atoms in Mexico", in Medina, E., Holmes, C. y Da Costa, I. *STS in Latin America: Beyond Imported Magic*. Cambridge: MIT Press.
- Mateos, G. y E. Suárez-Díaz (en prensa), *Pacificando átomos en México. Nuclearidad y desnuclearización de la ciencia mexicana en el contexto de la Guerra Fría*. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- Mateos, G., A. Minor y V. Sánchez, (2012), "Una modernidad anunciada: Historia del Van de Graaff de la ciudad universitaria," *Historia Mexicana* 61(1): 415-42.
- Mauss, Marcel (1923/1971), *Ensayo sobre los dones: razón y forma del cambio en las sociedades primitivas*. Tecnos: Tecnos.
- Miller Clark A (2006), "An effective instrument of peace: Scientific cooperation as an instrument of U.S. foreign policy, 1938-1950," *Osiris* 21: 133-60.
- Minor, Adriana (2011), *Instrumentos científicos en movimiento. Historia del acelerador Van de Graaff del Instituto de Física de la UNAM (1950-1983)*. Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Moreno, Augusto M. (1955), "Determinación de la edad de la muestra: SP.2 Tamaulipas México S.M. Canyon Infiernillo T.M.C. 248, Tm. 248 level 7 culture early portales", *Revista Mexicana de Física* 4(4): 232-237.
- Palacios, Adelaida, et al. (1959), "Métodos de determinación del estroncio 90", *Revista Mexicana de Física* 8(1): 27-41.
- Phalkey, J. (2013), *Atomic State: Big Science in Twentieth-Century India*. New Delhi: Permanent Black.
- Podgorny, I. (2010). "Coleccionistas de arena. La comisión médico-quirúrgica italiana en el altiplano boliviano (1875-1877)", *Antípoda* 11: 167-188.
- Rader, K. (2006), "Alexander Hollaender's postwar vision for biology: Oak Ridge and beyond," *J. Hist. Biol.* 39: 685-706.
- Safier, N. (2010), "Global knowledge on the move: Itineraries, Amerindian narratives, and deep histories of science," *Isis* 101: 133-145.

- Santesmases, Ma. Jesús (2006), "Peace propaganda and biomedical experimentation: Influential uses of radioisotopes in endocrinology and molecular genetics in Spain (1947-1971)," *J. Hist. Biol.* 39: 765-794.
- Secord, J. (2004), "Knowledge in transit," *Isis* 95(4): 654-72.
- Sivasundaran, Sujit (2010), "Sciences on the global: on methods, questions, and theory," *Isis* 101(1): 146-158.
- Vélez Ocón, C. (1997), *Cincuenta años de energía nuclear en México: 1945-1995*. México: Programa Universitario de Energía, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Zachmann, K. (2011), "Atoms for peace and radiation for safety—how to build trust in irradiated foods in Cold War Europe and beyond," *History and Technology* 27(1): 65-90.