

Historia de la investigación de la radioactividad en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares

Silvia Bulbulian¹ e Ignacio A. Rivero Espejel²

¹ Centro de Ciencia Aplicada y Desarrollo Tecnológico, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria. Coyoacán 04510. México, D. F.

² Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Departamento de Química. Carretera México Toluca S/N, La Marquesa, Ocoyoacac, México, D.F. C.P. 52750. iarivero@yahoo.com.mx

Abstract. The history of research on radioactivity in Mexico formally begins with the formation of a group of nuclear chemistry in 1965, in the facilities of Comisión Nacional de Energía Nuclear (National Nuclear Energy Commission) which would service Salazar Nuclear reactor installed in the State of Mexico. This group was led by Ing. Marcos Mazari, who was responsible for the installation of the particle accelerator. The second group of researchers led by Dr. Arnulfo Morales, installed nuclear reactor Triga III in 1966. On November 8th, 1969, the reactor launched operation, and the nuclear chemistry staff conducted the first experiment on radiation and radioactivation on January 23th, 1970. This group was led by Silvia Bulbulian, creating the chemistry department, which to date is in operation.

Keywords: Radioactivity, ININ, Department of Chemistry.

Resumen. La historia de la investigación sobre radioactividad en México formalmente inicia con la formación de un grupo de química nuclear en 1965 en el edificio de la Comisión Nacional de Energía Nuclear (CNEN) que daría servicios al reactor Nuclear de Salazar instalado en el Estado de México. Este grupo era dirigido por el Ing. Marcos Mazari, encargándose de la instalación del acelerador de partículas. El segundo grupo de investigadores dirigido por el Dr. Arnulfo Morales, en 1966, instalaron el reactor nuclear Triga III. El 8 de noviembre de 1969 se puso en operación el reactor y el personal de química nuclear realizó el primer experimento de radiación y radioactivación en este reactor el 23 de enero de 1970. El grupo estaba dirigido por Silvia Bulbulian, creándose el departamento de química, que hasta la fecha está en operación.

Palabras Clave: Radioactividad, ININ, Departamento de Química.

Introducción. Sobre la radiactividad

En 1896 el físico francés Henri Becquerel (1852-1908) descubrió la radiactividad, al estudiar a los minerales de uranio y darse cuenta que estos emiten radiaciones. Este hecho causó cambios significativos en el conocimiento de muchas disciplinas, entre otras, la física, química, medio ambiente, la salud, la biología, alimentos, industria, energía medicina nuclear y otras. Posteriormente Pierre (1859-1906) y Marie Curie (1867-1934) realizaron a finales del siglo XIX estudios sobre los minerales de uranio y torio que los condujeron al descubrimiento de dos elementos, el polonio y el radio. Estos elementos despertaron un gran interés por emitir radiaciones muy penetrantes, a semejanza del uranio y el torio. A esta propiedad del radio y otros elementos de emitir energía en forma de radiación al desintegrarse Marie Curie la denominó "radiactividad". El descubrimiento de la radiactividad y de los elementos radiactivos naturales en los últimos años del siglo XIX marcó el inicio de una serie de descubrimientos importantes que cambiaron completamente la idea que se tenía sobre la estructura de la materia.

En 1957 se fundó la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA por sus siglas en inglés) como respuesta a las interrogantes sobre el descubrimiento y el uso de la energía nuclear. El propósito de la agencia es desarrollar, vigilar y regular los usos de esta energía nuclear y el uso de los radionúclidos en el mundo. Entre algunos estudios que realiza se refieren a diversas técnicas y principios utilizados para medir las desintegraciones de los núcleos radiactivos y los tipos y las energías de radiación emanadas de los radionúclidos. La determinación de la velocidad de desintegración de los radio-

núclidos provee una medida cuantitativa de la cantidad de radionúclido en la muestra. La actividad de los radionúclidos se cuantificó en un principio en unidades denominadas curies o becquerels.

La medida de la actividad de los radionúclidos es de gran interés para las personas que trabajan varias disciplinas. Esto incluye a científicos, ingenieros, físicos, médicos y técnicos cuyo trabajo incluye la preparación, utilización o desecho de materiales radiactivos y la medida de la radiactividad en el ambiente. Entre éstos se encuentran personas trabajando en los campos de la radiofarmacia, medicina nuclear, análisis clínicos, investigaciones científicas, aplicaciones industriales, salud, energía nuclear, para mencionar sólo algunas aplicaciones.

Antecedentes del ININ

El Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), realiza investigación y desarrollo en el área de ciencia y tecnología nuclear y proporciona diversos servicios especializados.

Iniciemos con el personaje central sobre la radiactividad, ésta es Marie Curie, científica francesa de origen polaco. Ella vendió mesitorio encapsulado en 10 agujas de platino al Dr. Labastida en México (Fig. 1). Este material fue utilizado para fines médicos, específicamente para implantarlo en tumores.

En la Comisión Nuclear de Seguridad Nuclear y Salvaguarda (CNSNS) se conserva el certificado original de venta de este material. Después de muchos años ese material fue resguardado en el Centro Nuclear de México, en el Departamento de Desechos Radiactivos cuyo jefe es el Dr. Juan

INSTITUT DU RADIUM. Paris, le 15 juin 1933. 1933.

LABORATOIRE CURIE
1, RUE PIERRE CURIE, PARIS (5^e).

CERTIFICAT. n° 2954

DOSAGE DE THORSOTHIUM PAR LE RAYONNEMENT γ .

NATURE ET PROVENANCE DE L'APPAREIL. *un appareil à selles n° 670*

L'appareil a été apporté par *la Radio Curie* qui déclare que la matière active contenue dans cet appareil est du thorsotinium, auquel peut être mélangée une certaine quantité de radium.

Longueur *17.3 x 17.3 mm*
Diamètre
Poids *sans le bouchon 9.619 g.*

apporté le *14 juin 1933*
rendu le *15*

RÉSULTAT DES MESURES.

Le rayonnement γ de l'appareil est comparé au rayonnement γ de l'étalon de radium du Laboratoire.

Si l'appareil n'a pas atteint son rayonnement limite en ce qui concerne le radium, celui-ci est déduit des mesures par le calcul.

L'appareil qui fait l'objet de ce certificat n'avait *pas* atteint son rayonnement limite en ce qui concerne le radium.

RÉSULTAT DES MESURES.

Le rayonnement γ émis à l'extérieur de l'appareil est équivalent à celui de *3.26* Milligrammes de radium élément.

QUANTITÉ DE RADIUM CORRESPONDANT À CELLE DE LA MATIÈRE ACTIVE CONTENUE DANS L'APPAREIL.

Cette quantité est évaluée en tenant compte de l'absorption du rayonnement γ émis par la paroi de l'appareil, conformément à l'épaisseur de celle-ci et à son coefficient d'absorption.

L'épaisseur indiquée par la correction qui en résulte est évaluée à *une fraction négligeable* du rayonnement γ qui émane de la substance.

L'activité de la matière contenue dans l'appareil à la date du *15 juin 1933* correspond donc à

MILLIGRAMMES DE RADIUM ÉLÉMENT *3.26*
trois milligrammes, vingt six centièmes

MILLIGRAMMES DE BROUURE HYDRATÉE $\text{RaBr}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ *6.08*
six milligrammes, huit centièmes

La précision des mesures est suffisante pour que l'erreur ne puisse atteindre *1%*.

Ce certificat est unique et doit accompagner l'appareil pour lequel il a été délivré.

LE DIRECTEUR DU LABORATOIRE,
M. Curie

35/4/33

Fig. 1. Certificado de compra de la primera fuente radiactiva en México.

Jiménez Domínguez. Las fuentes radiactivas se depositaron en un pozo profundo del centro de almacenamiento de desechos radiactivos (CADER) y la caja fuerte se almacenó en el mismo CADER. Posteriormente, en la década de los años 40, el Hospital General recibió 1.5 g de ^{226}Ra , donado por el *Memorial Hospital* de Nueva York, para ser empleado como una planta de radón y preparar agujas con este isótopo.

Dr. Manuel Sandoval Vallarta (1899-1977)

Durante la Segunda Guerra Mundial (1939-1945) el Dr. Manuel Sandoval Vallarta, distinguido científico mexicano que laboró en el Instituto Tecnológico de Massachusetts en Cambridge, Estados Unidos del 1923 a 1946, realizó varias estancias en México entre 1943 y 1946, para finalmente radi-



Fig. 2. El Dr. J. Jiménez mostrando la caja fuerte en la que estuvo almacenada la fuente radiactiva.

car en México de manera permanente. Esto último fue debido a dos razones fundamentales, una de ellas era que no estaba dispuesto a cambiar de nacionalidad que le requerían en los E. U. y la segunda, muy importante para él, era contribuir al desarrollo científico en México. En 1942, se fundó, durante la presidencia del Gral. Manuel Ávila Camacho, la Comisión Impulsora y Coordinadora de la Investigación Científica (CICIC), cuyo presidente era precisamente el Dr. Sandoval Vallarta. Esta institución se transformó en 1950 al Instituto Nacional de la Investigación Científica (INIC), antecedente del actual CONACYT, el cual se creó en 1970.

En su artículo publicado en la revista *Naturaleza* de 1973, el Dr. Sandoval Vallarta, hablando de la CICIC dice: “Tenía un programa demasiado ambicioso; decir que tenía recursos sumamente limitados, es exagerar muchísimo, pues en realidad no tenía recursos. Hacer programas cuando no hay recursos es hacerse ilusiones”. Esos comentarios muestran los problemas que tenía esa institución para desarrollarse. La CICIC no tuvo muy buen éxito, pero por lo menos llamó la atención del Gobierno de México hacia la importancia de los problemas científicos, de las aplicaciones de la ciencia y de la técnica al desarrollo económico y social del país.

El primer laboratorio para investigar la radioactividad se formó en 1943 por iniciativa de Sandoval Vallarta, con el propósito específico de desarrollar la química, la mineralogía y las aplicaciones de los minerales radiactivos de México. Una de las primeras tareas de la CICIC fue la de hacer un inventario de minerales radiactivos en el país, el cual se empezó a realizar probablemente en 1944 en el CICIC. Los laboratorios de radioactividad y el catálogo de minerales radiactivos quedaron bajo la responsabilidad de Sandoval Vallarta. En esa época el



Fig. 3. Dr. Manuel Sandoval Vallarta.

Dr. Nabor Carrillo Flores quedó como jefe del laboratorio de mecánica de suelos.

Dr. Nabor Carrillo Flores (1911-1967)

En agosto de 1945 la energía nuclear pasó a ser del dominio público como consecuencia de las terribles explosiones atómicas en las ciudades de Hiroshima y Nagasaki. El Dr. Nabor Carrillo Flores fue un distinguido científico (hijo del célebre músico Julián Carrillo, 1875-1965) que entre numerosas responsabilidades que asumió se incluye la de representante de México en la prueba atómica realizada por los Estados Unidos en el atolón de Bikini, en el Océano Pacífico, en 1946. Fue asesor de la delegación Mexicana en la Comisión de Energía



Fig. 4. Dr. Nabor Carrillo Flores (1911-1967).

Atómica de las Naciones Unidas para el uso pacífico de la energía atómica.

Posteriormente Nabor Carrillo fue Rector de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) de 1953 a 1961, durante el período en que ésta tuvo un notable crecimiento. Era firme, enérgico y decidido; le tocó mudar la Universidad a su nueva casa en Ciudad Universitaria y resolver los numerosos problemas que esto implicó. La vieja Universidad, por siglos repartida en numerosos locales separados, debía convivir bajo un mismo techo. Influyó para que muchos estudiantes prometedores e ingenieros jóvenes se especializaran en mecánica de suelos y tuvo éxito en la obtención de apoyo financiero para la investigación en dicho campo. A sus esfuerzos se debe básicamente que México haya alcanzado su actual posición eminente en la mecánica de suelos teórica y aplicada. Asimismo fue muy estimado tanto por el presidente Adolfo Ruiz Cortines (1890-1973) como por el presidente Adolfo López Mateos (1910-1969), con quienes tomó decisiones muy importantes durante sus gestiones.

Nabor Carrillo viajaba mucho, no solamente para cumplir con los compromisos de la UNAM sino porque además impartía conferencias y clases. Gustaba de las artes, particularmente de la pintura, la escultura, el canto y la música. Integrando las áreas de la ingeniería, la energía nuclear y la mecánica de suelos, tuvo la visión de soluciones extraordinarias para dos grandes problemas que afectan a la Ciudad de México: el insuficiente abastecimiento de agua potable y el continuo hundimiento de la Ciudad. Al dejar la Universidad, concluida su labor en la rectoría, Nabor Carrillo volvió a la cátedra y a la investigación, especializándose en el estudio de la energía Nuclear. Fue designado Vocal Ejecutivo de la Comisión Nacional de Energía Nuclear.

Comisión Nacional de Energía Nuclear (CNEN)

Desde el descubrimiento de los depósitos radiactivos en el noroeste de México se había hecho necesaria la creación de nuevos laboratorios en el país para el estudio de los minerales radiactivos. El Dr. Manuel Sandoval Vallarta estaba muy interesado en la lluvia radiactiva, y encontró que el nivel radiactivo normal en la ciudad de México, debido a la radiación cósmica, era elevado. Este aumento lo interpretó, como el resultado del paso de nubes radiactivas sobre nuestra capital y dedicó atención a estos problemas desde el año 1954.

El 31 de diciembre de 1955 el Gobierno Mexicano expidió la ley constitutiva de la Comisión Nacional de Energía Nuclear (CNEN). Este ordenamiento entró en vigencia el primero de enero de 1956. Sin embargo, la Comisión comenzó a trabajar en los últimos meses de 1956 y con mayor intensidad desde el primer semestre de 1957. Esta institución desarrolló dos actividades principales: 1) Un programa de entrenamiento sobre técnicas con radioisótopos e instrumentación nuclear y 2) La creación de programas especializados y laboratorios

Entre otros, los proyectos de lo CNEN se relacionaban con la exploración y extracción de uranio, aplicaciones de los



Fig. 5. En la primera fila el Lic. José María Ortiz Tirado (6) acompañado por los Dres. Alberto Barajas (3), Carlos Graeff Fernández (4), Nabor Carrillo Flores (5), Quím. Ninfa Guerrero (8) y otras personalidades de la CNEN.

radionúclidos, seguridad radiológica, patrones radiactivos, dilución de radioisótopos, usos pacíficos de las radiaciones, radiación electromagnética, física de plasmas y física de reactores. La recién formada Comisión Nacional de Energía Nuclear fue encabezada por las personalidades que se mencionan a continuación. El Lic. José M. Ortiz Tirado, como Presidente, el Dr. Nabor Carrillo Flores y el Dr. Manuel Sandoval Vallarta como Vocales Miembros de la Comisión, el Dr. Alberto Barajas, como Presidente del Consejo Consultivo y el Dr. Fernando Alba Andrade, Ing. Eduardo Díaz Lozada, Dr. Carlos Graef Fernández, M. C. José Mireles Malpica y el Ing. Jorge Suárez Díaz como miembros del Consejo Consultivo. En la Secretaría General el Lic. Salvador Cardona, en la Dirección de Relaciones el Sr. Tomás Gurza y en la Subdirección el Lic. Andrés Lozana. Como bibliotecario el Profesor Pedro Zamora.

Los investigadores del Instituto de Física de la UNAM fueron pieza fundamental en la formación de grupos científicos de la Comisión Nacional de Energía Nuclear. Asesoraron a los grupos de científicos en la formación de físicos, químicos e ingenieros para prepararlos para las labores que requería la nueva institución. De esa manera formaron personal de alto nivel el cual a su vez formó grupos en la Institución continuando con las labores de investigación básica, aplicada y servicios relacionados con la Energía Nuclear. Científicos muy importantes, entre otros, en el área de Química Nuclear, fueron el Ing. Marcos Mazari, el Dr. Alfonso Mondragón, el Dr. Marcos Moshinski, el Ing. Tomás Brody.

Estudios sobre la lluvia radiactiva

Como se mencionó anteriormente, el tema de la energía nuclear pasó a ser del dominio público debido a las explosiones en Hiroshima y Nagasaki. En 1946, el Comité Científico para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas

de las Naciones Unidas elaboró un plan de acción en todo el mundo. Nuestro país estuvo representado en esas sesiones por tres mexicanos, entre ellos el Dr. Fernando Alba Andrade en ese entonces, director del Instituto de Física de la UNAM y después, en 1971, director del INEN.

Como una consecuencia, ese Comité incluyó en sus trabajos el estudio de la lluvia radiactiva debida a las pruebas nucleares y recomendó a los países miembros de las Naciones Unidas (ONU) lo siguiente:

1. Determinar la actividad β artificial, precipitada por unidad de área, y la actividad total acumulada en la superficie de la tierra.
2. Determinar las concentraciones de ^{90}Sr y ^{137}Cs .
3. Finalmente estudiar métodos de recolección y estimación de la lluvia radiactiva.

Estos estudios se iniciaron en el Instituto de Física de la UNAM, por contrato entre esta institución y la entonces Comisión Nacional de Energía Nuclear. El jefe del proyecto del estudio de la lluvia radiactiva fue el Ing. Tomás Brody (1922-1988), del Instituto de Física de la UNAM (IFUNAM).

La CNEN subvencionaba investigaciones llevadas a cabo en laboratorios ya existentes y había establecido otros propios para ramas especiales de la ciencia, como por ejemplo, la radiactividad y la mecánica de suelos.

En esa época era importante conocer la radiactividad atmosférica, incluyendo la debida a causas naturales, la radiación cósmica y la radiactividad natural del ambiente y se hizo hincapié en la producida por las explosiones de bombas atómicas.

Las medidas de precipitación radiactiva se efectuaban en nuestro país bajo la dirección del Dr. Sandoval Vallarta, desde que se fundó la CICIC y después se continuaron en el INIC. El método que se utilizaba en un principio era con contadores Geiger, que revelaba inmediatamente los aumentos de la radiación, pero era incapaz de identificar los radisótopos que originaban dicho aumento. En el IFUNAM, en colaboración con la CNEN, las medidas se iniciaron desde mayo de 1956

empleando hojas de papel engomado y superficies libres de agua, ya que era el método recomendado por el comité científico para el estudio de los efectos de las radiaciones atómicas de las Naciones Unidas. Así fue como se iniciaron estos estudios en el Instituto de Física de la UNAM por contrato entre esa institución y la entonces CNEN. El jefe del proyecto del estudio de la lluvia radiactiva fue el Ing. Tomás Brody quien trabajaba tanto en la CNEN como en el IFUNAM.

En los inicios, la CNEN contaba con un reducido número de personas, entre las que destacaban, en puestos administrativos y jurídicos, personal proveniente de la Secretaría de Relaciones Exteriores. Es difícil abarcar la historia de todos los fundadores, por lo que solo se mencionan en este trabajo algunos de los científicos que participaron desde esa época y que permitieron realizar el trabajo que llevamos a cabo en el Departamento de Química del ahora ININ.

Entre otros, los proyectos de lo CNEN se relacionaban con la exploración y extracción de uranio, aplicaciones de los



Fig. 7. Ing. Tomás Brody, Dr. Fernando Alba Andrade y el Dr. Glenn T. Seaborg.



Fig. 6. Ing. Tomás Brody (1922-1988).



Fig. 8. Ing. Química Adelaida Palacios.

radionúclidos, seguridad radiológica, patrones radiactivos, dilución de radionúclidos, efectos genéticos de las radiaciones, radiación electromagnética, física de plasmas y física de reactores. En septiembre de 1957 la Ing. Química Adelaida Palacios, se incorporó al Instituto de Física de la UNAM invitada por Tomás Brody. Ella inició los trabajos radioquímicos en México.

Su principal interés estaba en la separación del ^{90}Sr contenido en la leche y en otros materiales orgánicos. Como resultado de esas investigaciones se publicó en la *Revista Mexicana de Física* el primer artículo de radioquímica en México, cuya portada se muestra en la figura 9.

Un año después se unió al grupo del Instituto de Física de la UNAM una segunda radioquímica, Ana María Martínez, querida amiga y compañera del ININ.

Desafortunadamente, Adelaida Palacios murió en 1959, sólo dos años después de haber iniciado sus investigaciones. “Sus colegas perdieron en ella una colaboradora de excep-

cional categoría y capacidad profesional y de gran espíritu de cooperación”. Éste es sólo una de los enunciados de la esquela funeraria que publicó la Sociedad Mexicana de Física en su revista y que se muestra a continuación.

Como resultado de las investigaciones iniciadas por Adelaida Palacios se publicaron, además del artículo mostrado, los siguientes:

“Tercer informe sobre los estudios de la precipitación radiactiva”, T. A. Brody, F. Alba, R. Camaras, A. Palacios, G. Rickards, A. Tejera y E. de Velarde. *Rev. Mex. Fis.* VII (1), 1958, 1-25.

“Cuarto informe sobre estudios de la precipitación radiactiva” F. Alba, T. A. Brody, A. Palacios, G. Rickards, E. G. de Velarde, A. M. Martínez. *Rev. Mex. Fis.* VIII (1), 1959, 61-85.

Quinto informe sobre estudios de precipitación radiactiva. T. A. Brody, S. Bulbulian, J. Calvillo, A. M. Martínez.

En 1961 se creó el Laboratorio de Dilución de Radioisótopos en la CNEN. Este grupo estuvo dirigido en un principio por el Ing. Tomás Brody y posteriormente por el Dr. Ariel Tejera. Las participantes de este grupo fueron Ninfa Guerrero de Callejas, Ana María Martínez y Silvia Bulbulian. La primera muestra de ^{131}I para uso médico que se importó de Canadá por la Comisión Nacional de Energía Nuclear en febrero de 1962, fue enviada al IMSS para su uso en un hospital. Durante la primera parte de ese año la cantidad promedio de ^{131}I comprado por hospitales privadas y públicos fue de 30 mCi al mes, mientras que al final del año fue de 115 mCi/mes. Esta cantidad fue creciendo, y en 1967 esa cantidad era de 2.000 mCi/mes, en 1997 se vendían 60 dosis de ^{131}I con una actividad total

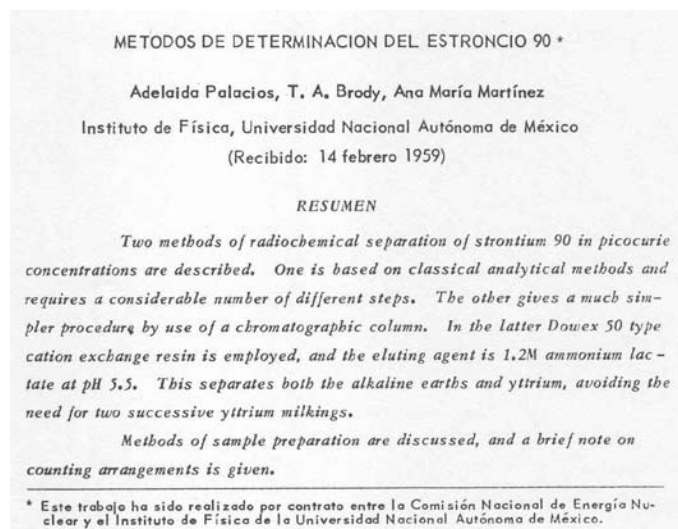


Fig. 9. Resumen del primer artículo publicado sobre la radioquímica del estroncio 90 (*Revista Mexicana de Física*).



Fig. 10. M. en C. Ana María Martínez Leal.



Fig. 11. Esquela publicada por la Sociedad Mexicana de Física en 1959.

de 28 000 039,000 mCi por mes. El ^{131}I es sólo uno de los varios radioisótopos que vende el ININ.

La Comisión Nacional de Energía Nuclear (CNEN) había sido fundada en 1956. A principios de 1961 se formó el grupo de dilución de radioisótopos de la CNEN en unos laboratorios instalados en la Ciudad de México, en la calle Miguel Ángel de Quevedo. Allí trabajaban Ana María Martínez, Ninfa Guerrero y Silvia Bulbulian, bajo la dirección de Ariel Tejera.

Un segundo trabajo de radioquímica, realizado en la entonces CNEN fue la tesis de licenciatura en física de Silvia Bulbulian. Cuya portada se muestra a continuación

Para esa tesis se utilizaron el telurio metálico y óxido de telurio irradiados en el reactor experimental instalado en el campo Marte. El trabajo consistió en separar el telurio del ^{131}I formado por la siguiente reacción nuclear: $^{130}\text{Te} (n, \gamma) ^{131}\text{Te}$.

Un grupo de investigadores mexicanos realizó estudios, entre otros, para la ubicación más adecuada del Centro Nuclear e instalar allí el equipo necesario. Estos estudios se presentaron en la Conferencia Internacional sobre Localización de Reactores que se celebró en Bombay, India, en marzo de 1963. Los expertos de muchas partes del mundo que asistieron a esa presentación encontraron satisfactoria la ubicación del Centro Nuclear de México. El Organismo Internacional de Energía Atómica envió expertos a examinar, tanto los terrenos del Centro, como el edificio en que se alojaría el reactor TRIGA MARK III. Se necesitaba una gran extensión de terreno para instalar un reactor nuclear y un acelerador de partículas cargadas, así como varios de los laboratorios de la Comisión Nacional de Energía Nuclear. El sitio escogido está localizado en el municipio de Ocoyoacac, cerca del pueblo de Salazar, Estado de México, aproximadamente a 36 km suroeste de la Ciudad de México, al sur de la carretera México-Toluca. Tiene una elevación de 3000 m sobre el nivel del mar y una superfi-



Fig. 12. Portada de la Tesis Radioquímica “Producción de ^{131}I ”.



Fig. 13. Dres. Ariel Tejera, Nuria Segovia e Ing. Héctor Guerrero.

cie de 150 ha de terreno montañoso que varía en altitud 50 m aproximadamente alrededor del promedio. La carretera México-Toluca pasa a unos 50 m del lindero norte del sitio y a 1500 m del conjunto del Reactor.

En esa misma época se formó el grupo de Trazas Nucleares con la participación de los Dres. Nuria Segovia y Ariel Tejera, jefe del grupo, en los mismos laboratorios instalados en la Ciudad de México, en la calle Miguel Ángel de Quevedo.

Átomos en Acción

A principios de 1962 el gobierno de los Estados Unidos, a través de su Comisión de Energía Atómica y con la colaboración del gobierno de México, por medio de la Comisión Nacional de Energía Nuclear, presentó una exposición bajo el título de “Átomos en Acción” (Ciudadano Átomo, 1962), su objeto era presentar en forma objetiva y sencilla los múltiples logros del empleo de los radioisótopos y la radiación en muy diversos campos, como la investigación científica, la medicina, la industria, la agricultura, etc., así como los desarrollos de la energía nuclear en la generación de electricidad. La Exposición se instaló en el Campo de polo Marte, junto al Auditorio Nacional en Chapultepec.

Los aparatos que más llamaban la atención en la exposición eran un pequeño reactor para investigación de 10 kilowatts térmicos y una fuente de irradiación gamma de 1500



Fig. 14. Presentación de la exposición Átomos en Acción en el Campo Marte (Abril-mayo, 1962).

curies de cobalto-60. Este reactor se utilizó por primera vez en México por Tomás Brody y por Silvia Bulbulian, para irradiar dos muestras, una de telurio metálico y otra de dióxido de telurio. El reactor nuclear fue operado por personal estadounidense calificado que acompañaba a la exposición que había supervisado su transporte e instalación, sin embargo, también fue operado por personal mexicano. Tocó en suerte al Ing. Antonio Magaña Plaza ser el primer mexicano que lo puso en servicio. Este reactor se utilizó por primera vez en México al irradiar allí dos muestras, una de telurio metálico y otra de dióxido de telurio. De esta muestra se obtuvo ^{131}I en pequeñas cantidades por la técnica de destilación.

Centro nuclear, 1964

En el informe de la CNEN publicado en 1963, ya se aprecia el gran entusiasmo para instalar el primer Centro Nuclear de México. El informe dice: “el proyecto del centro es el fruto de años de preparación, durante los cuales se han formado más de un centenar de expertos mexicanos que se adiestran en los países más adelantados del mundo”.

Cuando se iniciaron los proyectos del Centro, el presidente de la CNEN era el Lic. José María Ortiz Tirado y los vocales los doctores Nabor Carrillo y Manuel Sandoval Vallarta.

El Centro Nuclear de México fue fundado como una dependencia de la Comisión Nacional de Energía Nuclear. Al dejar la Universidad Nacional Autónoma de México en 1961, concluida su labor en la rectoría, el Dr. Nabor Carrillo Flores volvió a la cátedra y la investigación, especializándose en el estudio de la energía nuclear. La CNEN le encargó hacer las gestiones ante el Gobierno para conseguir el terreno para el Centro Nuclear y los fondos para construirlo. El Lic. Adolfo López Mateos, entonces presidente de México, vio la necesidad que tenía nuestro país de este Centro.



Fig. 15. Ceremonia de colocación de la primera piedra de los edificios del Centro Nuclear de México. Lic. José María Ortiz Tirado acompañado del Dr. Nabor Carrillo Flores y de otros personajes del Gobierno Federal y de la CNEN.

La ubicación del Centro Nuclear en los bosques de Salazar se debió principalmente a la necesidad de una amplia extensión de terreno para poder localizar allí varios laboratorios, además de los edificios del Reactor, del Acelerador y de los Talleres Generales. Carlos Vélez, Roberto Treviño y Marcos Mazari, entre otros, hicieron los estudios de las áreas propuestas resultando ser ésta la más adecuada de todas.

Este Centro se empezó a construir en 1964 con el propósito de desarrollar las ciencias nucleares y de reunir a los científicos e investigadores que trabajaran en estas áreas. En ese año se colocó la primera piedra de este Centro en el Municipio de Ocoyoacac, Estado de México. La construcción de la primera etapa duró aproximadamente 5 años. La inauguración oficial, (aunque de hecho ya trabajaban ahí algunos grupos desde 1967), fue realizada a fines de 1970.

Los laboratorios de la CNEN, que en un principio habían sido montados en casas habitación en la ciudad de México, se trasladaron al Centro Nuclear donde fueron construidos para los requerimientos específicos entre 1966 y 1970. La CNEN, en el Centro Nuclear, contaba, entre otros, con laboratorios electrónicos y de investigación en detectores de estado sólido, así como un grupo que trabajaba en el diseño de aceleradores para aplicaciones de tipo industrial, entre otras, la esterilización de ciertos materiales. Desarrollaba además programas de trabajo como la producción de radioisótopos artificiales, el estudio de los efectos genéticos de las radiaciones sobre organismos y estudios de física e ingeniería de reactores. Se contaba, además, con la Sección de Análisis por Activación ahí se estudiaba la radiación de los isótopos formados en el reactor nuclear para medir trazas de impurezas en algunos materiales.

En 1966, el personal del departamento del reactor vinimos a ocupar las instalaciones del Centro Nuclear. El departamento del acelerador ya estaba instalado. El grupo de Química Nuclear del reactor estuvo integrado por: La jefa, Ma. Eugenia Ramírez de Arellano, Guadalupe Domínguez y Silvia Bulbulian.

En esa época, el Dr. Augusto Moreno y Moreno organizó en la CNEN una serie de conferencias de radioquímica y, entre



Fig. 16. El Centro Nuclear de México, en 1968.

otras personas, invitó al Dr. Alfred G. Maddock, de la Universidad de Cambridge, Inglaterra, quien durante años apoyó al grupo de Química Nuclear, como asesor científico.

En un principio el propósito del grupo de Química Nuclear fue proporcionar servicios al Reactor Nuclear que estaba por instalarse en el Centro Nuclear en Salazar, Estado de México. La fundadora de este grupo fue la Dra. María Eugenia Ramírez de Arellano de Halter y su personal estaba integrado por Guadalupe Domínguez y Silvia Bulbulian. En 1965 ya había llegado al Centro Nuclear el primer grupo de investigadores



Fig. 17. Grupo de Química Nuclear y otros investigadores del Centro Nuclear de México en 1968.



Fig. 19. Miriam Mondragón, Dr. Alfonso Mondragón y Alfred G. Maddock.

dirigido por el Ing. Marcos Mazari. Ellos instalaron el Acelerador de Partículas y lo hicieron funcionar. El segundo grupo de investigadores encabezado por el Dr. Arnulfo Morales, llegó en 1966 y fue destinado al edificio del Reactor Nuclear TRIGA Mark III; con ellos llegó el grupo de Química Nuclear a este Centro. Los trabajos científicos experimentales estuvieron salpicados de todo tipo de aventuras ya que los laboratorios aún no habían sido instalados.

A partir de 1965, el Dr. Alfred G. Maddock, Profesor de la Universidad de Cambridge, Inglaterra, asesoró a los investigadores de Química Nuclear.

Reactor Nuclear TRIGA Mark III

El 8 de noviembre de 1969 se puso en operación el reactor nuclear TRIGA Mark III, y el personal de Química Nuclear realizó el primer experimento de radiación y radiactivación en este reactor el 23 de enero de 1969. El radioisótopo obtenido permitió realizar la primera serie de investigaciones con radioisótopos estudiando los efectos químicos producidos por las transformaciones nucleares.

A las 20:38 h el reactor nuclear llegó a su criticidad. Las personas que estuvieron presentes ese día fueron: los doctores Arnulfo Morales A., quien como responsable del reactor encabezó la operación, Carlos Graeff Fernández, Alberto Barajas, y los investigadores Fernando López Carrasca; Enrique Ortega Espino, Antonio Ponce, Felipe Pozo Horta, Teodoro González, Romeo España, Ignacio Maldonado, Ricardo Corona y Víctor Ley Koo. Estuvieron presentes además los supervisores de la Gulf General Atomic, los señores Charles Coffey y Mike de Groot. En enero 23 de 1969 se irradió la primera muestra de telurio, en el reactor TRIGA MARK III del Centro Nuclear de México (ahora Centro Nuclear “Nabor Carrillo”). Ese fue el proyecto de irradiación número 1.



Fig. 18. Dr. Alfred G. Maddock.

El reactor nuclear es una de las herramientas más importantes del Centro Nuclear, y fue utilizado básicamente para enseñanza y entrenamiento, pero también para investigación básica y aplicada y, en un principio, para producción de radioisótopos.

Posteriormente en 1970, cuando la CNEN se convirtió en el Instituto Nacional de Energía Nuclear (INEN) el grupo de Química Nuclear tuvo como encargada a Silvia Bulbulian, dependía ya de la División de Investigación cuyo Director fue el Ing. Marcos Mazari, y en 1975 se convirtió en el Departamento de Química Nuclear y más tarde en el actual Departamento de Química.

A principios de los setenta, la Dra. María Eugenia Ramírez de Arellano, regresó al Departamento de Química para una estancia de investigación. Ella inició una colaboración con el Dr. Jean Pierre Adloff, de la Universidad Louis Pasteur de Estrasburgo, Francia, lo que permitió a los investigadores del Departamento de Química Nuclear y a otros investigadores del ININ a realizar estudios de doctorado en esa institución.

Algunos experimentos de radioquímica tuvieron que ser realizados en las Celdas Calientes, del Reactor.



Fig. 20. Dolores Tenorio, Suilma Marisela Fernández, y Melania Jiménez, tesistas del Departamento de Química Nuclear, acompañadas de su asesora, Silvia Bulbulian.



Fig. 21. Dres. Pablo Mulás, Draganic y Jean Pierre Adloff.



Fig. 22. Melania Jiménez en las Instalaciones de las Celdas Calientes del Reactor.

Los primeros proyectos de investigación que se desarrollaron en el grupo de Química se basaron en los efectos químicos que producen las diversas transformaciones nucleares. Estos efectos permiten separar un isómero nuclear de otro. Así el pequeño grupo de investigadores fue creciendo, diversificando sus intereses y empezó a realizar estudios sobre temas químicos de interés nuclear.

El 26 de enero de 1979, se dividieron una vez más las funciones del Instituto Nacional de Energía Nuclear (INEN), dando lugar al nacimiento de la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS) y el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), organismo público des-



Fig. 23. Dr. Jean Pierre Adloff.

centralizado del Gobierno Federal, creado conforme a la Ley Reglamentaria en materia nuclear del Artículo 27 de la Constitución de los Estados Unidos Mexicanos, cuyo *objetivo es planear y realizar la investigación y el desarrollo en el campo de las ciencias y tecnologías nucleares, así como promover los usos pacíficos de la energía nuclear y difundir los avances alcanzados para vincularlos al desarrollo económico, social y tecnológico del país.* Algunos de los servicios que proporciona el ININ se relacionan con la producción de materiales radiactivos destinados a la medicina nuclear y a la industria; la esterilización y descontaminación de materias primas y productos terminados mediante radiación gamma, la industria alimentaria y de manufactura; la dosimetría personal aplicada a compañías e instituciones relacionadas con el manejo de materiales radiactivos; y finalmente la recolección, tratamiento y almacenamiento de desechos radiactivos de origen médico e industrial.

En 1979, el personal del Departamento de Química Nuclear organizó e impartió los primeros cursos al personal que formó el Laboratorio de Radioquímica de la Central Nucleoeléctrica de Laguna Verde. Posteriormente este grupo colaboró con el Departamento de Capacitación Externa (actualmente Departamento de Capacitación Continua) impartiendo cursos para el personal de esa Central.

Desde su formación, el personal científico de este departamento ha asesorado a estudiantes dirigiendo tesis de licenciatura, maestría y doctorado en colaboración con las diversas instituciones educativas del país. Parte del plan de trabajo se ha basado en la comunicación entre los investigadores y estudiantes a través de seminarios presentados tanto en el departamento como en otras instituciones científicas.

El Departamento de Química del ININ ha colaborado con diversas instituciones del país como la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx), la Universidad Nacional Autónoma del México (UNAM), la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), la Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ), el CINVESTAV y el Instituto Politécnico Nacional (IPN), la Benemérita Universidad de Puebla (BUAP), la Universidad Veracruzana (UV), la Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASP), la Universidad de Morelia (UM), el Instituto Tecnológico de Toluca (ITT) y la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardas (CNSS). Además colaboró con instituciones de otros países como son: Austria, Inglaterra, Francia, Alemania, Estados Unidos, Brasil, Japón, Bélgica, España, Cuba, entre muchas otras.

El personal del Departamento de Química ha realizado numerosos trabajos de divulgación científica que han sido publicados en revistas como *Naturaleza*, *Ciencia y Desarrollo*, entre otras, y a través de libros editados por la UAEMéx y el Fondo de Cultura Económica. Así mismo ha participado en la organización de eventos científicos y ha colaborado con revistas, comisiones evaluadoras y cursos. Para el desarrollo de las investigaciones científicas el Departamento de Química ha contado con el apoyo del CONACYT y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).

En la actualidad este departamento cuenta con cinco téc-



Fig. 24. Dres. A. Moreno y A.G. Maddock.

nicos, una secretaria, 21 profesionistas e investigadores, 90 % de los cuales forman parte del Sistema Nacional de Investigadores (SNI).

La radioquímica o química nuclear, es la disciplina que asocia a la química y a la radioactividad, relacionando todos los radionúclidos, naturales o artificiales producidos por fisiones nucleares, reactores o aceleradores de partículas. La radioquímica está confrontada a dos situaciones extremas: una materia radioactiva presente a escala de unos cuantos átomos, que exige un constante progreso en la detección y caracterización de ultra-trazas, así como a cantidades macroscópicas en donde es necesario adaptar los métodos de la química clásica a la radioactividad. En el caso de la radioquímica, ésta se refiere a la aplicación del fenómeno del decaimiento radiactivo para la solución de problemas en el campo de la química mientras que la química de radiaciones estudia las transformaciones físico-químicas de compuestos y medios irradiados con radiaciones ionizantes o radiaciones que las crean.

En 1979 el Instituto Nacional de Energía Nuclear dio lugar al Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. En ese año, se iniciaron varios proyectos de investigación en radioquímica y química de radiaciones; éstos fueron los siguientes:

- Cambios químicos que producen las transformaciones nucleares.
- Técnicas experimentales para estudios de química nuclear.
- Estudios de los compuestos de uranio y torio y el efecto de su decaimiento.
- Química del positronio.
- Aplicación de técnicas nucleares en: a) arqueología. b) estudios de hidrología y sedimentación. c) la industria del petróleo.
- Aplicación del análisis de rayos X de fluorescencia.
- Química con radiaciones.
- Laboratorio de análisis químicos.
- Recuperación de uranio: a) a partir de roca fosfórica, b) por lixiviación bacteriana de minerales sulfurados. c) asociado a minerales cupríferos.



Fig. 25. Miembros del Departamento de Química Nuclear con personal de la CFE y del ININ, en 1979.



Fig. 26. Personal de la Central Nucleoeléctrica de Laguna Verde, participantes del 1er. Curso de Radioquímica y Química de Radiaciones y algunos instructores de ese curso.



Fig. 27. Asistentes al VII Simposio sobre química nuclear, radioquímica y química de radiaciones, Zacatecas Zac., 1988.

- Desarrollo de procesos para obtención de: a) hexafluoruro de uranio a dióxido de uranio. b) tetrafluoruro de uranio a partir de dióxido de uranio. c) dióxido de uranio a partir de diuranato de amonio o carbonato de amonio y uranilo. d) carbonato de amonio y uranilo a partir de soluciones puras de nitrato de uranilo.

El Departamento de Química además, organizó ocho Simposios Internacionales sobre Química Nuclear, Radioquímica y Química de Radiaciones, desde 1976 hasta 1991.

Para el desarrollo de las investigaciones científicas se ha contado con el apoyo económico de CONACYT, OIEA, UNESCO, ICCROM, entre otras instituciones.

Referencias

1. Sandoval Vallarta, M. Los peligros de las Bombas Atómicas. Memorias. *El Colegio Nacional* 1954, 111 (9), 33
2. Folleto de Presentación. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, septiembre de 1961
3. M. Sandoval Vallarta, "Don Manuel Sandoval Vallarta (Reminiscencias de una Vida Científica)". *Naturaleza* 1973, 4, 170-180.
4. Mondragón, A.; Barness, O. "Manuel Sandoval Vallarta. Obra Científica. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto Nacional de Energía Nuclear México (1978)
5. Mondragón, A. La Obra Científica de Manuel Sandoval Vallarta. Homenaje. Instituto Nacional de Estudios Históricos de la Revolución Mexicana, 1987.
6. Bulbulian, S. Semblanza de la Vida del Dr. Nabor Carrillo Flores. Homenaje al Dr. Nabor Carrillo Flores. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. 1994.
7. Bulbulian, S.; De Vecchi, B. Empleo de Radiaciones Nucleares en México Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. Septiembre de 1996.
8. Vélez Ocón, C. Cincuenta Años de Energía Nuclear en México, 1945-1995. Programa Universitario de Energía, Coordinación de Vinculación. Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F. 1997.