



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE CIENCIAS

**EL PROGRAMA DE GENÉTICA Y RADIOBIOLOGÍA DE LA
COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA NUCLEAR Y SU
REPERCUSIÓN EN LA BIOLOGÍA**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

B I Ó L O G O

P R E S E N T A:

CARLOS CERVANTES MONTES



**DIRECTOR DE TESIS:
DRA. ANA ROSA BARAHONA ECHEVERRÍA**

2015

Ciudad Universitaria, D. F.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS
Secretaría General
División de Estudios Profesionales

Votos Aprobatorios

DR. ISIDRO ÁVILA MARTÍNEZ
Director General
Dirección General de Administración Escolar
Presente

Por este medio hacemos de su conocimiento que hemos revisado el trabajo escrito titulado:

El Programa de Genética y Radiobiología de la Comisión Nacional de Energía Nuclear y su repercusión en la Biología.

realizado por **CERVANTES MONTES CARLOS** con número de cuenta **3-0624906-8** quien ha decidido titularse mediante la opción de **tesis** en la licenciatura en **Biología**. Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Propietario Dr. Ismael Ledesma Mateos

Propietario M. en C. María Alicia Villela González

Propietario Dra. Ana Rosa Barahona Echeverría
Tutora

Suplente Dra. América Nitxin Castañeda Sortibrán

Suplente Dra. Erica Torrens Rojas

Atentamente

“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU ”
Ciudad Universitaria, D. F., a 03 de diciembre de 2014
EL JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ACT. MAURICIO AGUILAR GONZÁLEZ

Señor sinodal: antes de firmar este documento, solicite al estudiante que le muestre la versión digital de su trabajo y verifique que la misma incluya todas las observaciones y correcciones que usted hizo sobre el mismo.

MAG/MGM/mdm *Uau*

Datos del jurado

1. Datos de alumno

Cervantes Montes Carlos (cervantesmontes.carlos@gmail.com)

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ciencias

Biología

306249068

2. Datos de tutor

Dra. Dra. Ana Rosa Barahona Echeverría (ana.barahona@ciencias.unam.mx)

Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología, Facultad de Ciencias, UNAM

3. Datos sinodal 1

Dr. Ismael Ledesma Mateos (prsmhct@gmail.com)

Laboratorio de Historia de la Biología y Estudios Sociales de la Ciencia, la Tecnología y la Educación, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM

4. Datos sinodal 2

M. en C. María Alicia Villela González (alicecat56@hotmail.com)

Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología, Facultad de Ciencias, UNAM

5. Datos sinodal 3

Dra. América Nixtin Castañeda Sortibrán (nixtin@ciencias.unam.mx)

Laboratorio de Genética, Facultad de Ciencias, UNAM

6. Datos sinodal 4

Dra. Erica Torrens Rojas (torrens@ciencias.unam.mx)

Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología, Facultad de Ciencias, UNAM

7. Datos del trabajo escrito

El Programa de Genética y Radiobiología de la Comisión Nacional de Energía Nuclear y su repercusión en la Biología. 62 p.

2015

Agradecimientos académicos

El presente trabajo se realizó bajo la asesoría de la Dr. Ana Rosa Barahona Echeverría en el laboratorio de Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología de la Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México.

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Ciencias, por todas las experiencias brindadas a lo largo de la licenciatura y por adentrarme el maravilloso mundo del saber.

A la Dra. Ana Rosa Barahona Echeverría por haberme permitido entrar en el laboratorio, por su esfuerzo, tutoría, dedicación y apoyo en la realización de mi tesis.

A la M. en C. María Alicia Villela González, por darse el tiempo de revisar mi tesis, por su tiempo para resolver todas mis dudas y por estar siempre pendiente de mis avances.

A la Dra. Erica Torrens Rojas y el tiempo, la disponibilidad y la paciencia para revisar a detalle mi trabajo y por sus valiosos comentarios.

A la Dra. América Nixtin Castañeda Sortibrán y al Dr. Ismael Ledesma Mateos por su tiempo y paciencia para revisar este trabajo.

Al Biol. Marco David Ornelas Cruces por haberme enseñado como se debe trabajar en el laboratorio, por explicarme siempre aquello que no entendía y por haber revisado esta tesis miles de veces; y a la Biol. Kenia Samantha Contreras Mirón por todos los regaños y honestidad con mi trabajo y por darse el tiempo de revisar mi tesis.

Al proyecto PAPIIT IN403513 "El tema de la evolución en los libros de texto de secundaria en México desde la historia y la filosofía de la ciencia, 1974-2012", bajo la dirección de la Dra. Ana Rosa Barahona Echeverría por la beca que me otorgo.

ÍNDICE

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	6
CAPÍTULO 1. LOS ORÍGENES DE LA FÍSICA NUCLEAR EN MÉXICO	7
CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES DE LA COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA NUCLEAR (CNEN)	12
CAPÍTULO 3. LA CNEN Y SUS LABORATORIOS	16
3.1 El Programa de Física Nuclear	18
3.2 El Programa de Aplicaciones Industriales de la Radiación	19
3.3 El Programa Agronómico	20
3.4 El Programa de Educación y Capacitación	20
3.5 Los Seminarios	21
3.6 El Programa de Reactores	21
3.7 El Programa de Radioisótopos	21
3.8 El Programa de Protección Radiológica	22
3.9 El Programa de Genética	23
CAPÍTULO 4. ALFONSO LEÓN DE GARAY Y EL PROGRAMA DE RADIOBIOLOGÍA Y GENÉTICA	23
4.1 El Programa de Genética 1960-1965	26
4.2 El Programa de Genética 1965-1973	44
4.3 El Programa de Genética 1973-Época actual	55
II. CONCLUSIONES	58
III. REFERENCIAS	60

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Desde 1927 era ya conocido el efecto de las radiaciones en los organismos vivos gracias a los estudios de Herman Muller con la mosca del vinagre, *Drosophila melanogaster*. Sin embargo, es a partir de la Segunda Guerra Mundial y en particular con el bombardeo de Hiroshima y Nagasaki, que se empiezan a desarrollar instituciones y proyectos especiales para estudiar a nivel global y local, los efectos de las radiaciones en seres humanos. México no fue la excepción, y como parte de las iniciativas internacionales se crea la Comisión Nacional de Energía Nuclear (CNEN). En México, durante la década de 1950, fueron escasas las investigaciones sobre energía atómica. Fue hasta que Manuel Sandoval Vallarta, Alfredo Baños, Carlos Graef y Nabor Carrillo se formaron como físicos de alto nivel en el extranjero y regresaron a México, que se impulsó el conocimiento de física nuclear en nuestro país. Asimismo, la falta de regulaciones en materiales atómicos, impulsó la creación de una institución a través del poder Ejecutivo en la Cámara de Diputados de la XLIII Legislatura que culminaría en la formación de un órgano específicamente dedicado a dichos estudios, la Comisión Nacional de Energía Nuclear. Con ello se abrieron nuevos campos cuya repercusión se ve reflejada en la Biología, en particular, en el estudio de los efectos de las radiaciones en las poblaciones humanas en el trabajo pionero de Alfonso León de Garay. Esto fue muy importante pues, por un lado, el laboratorio de León de Garay fue el primero dedicado a la genética en México donde se formaron muchos profesionales en diversas ramas de la genética, y por el otro, porque se desarrollaron técnicas radiobiológicas que estaban siendo aplicadas en otras partes del mundo. Es por esto que el estudio de la CNEN y el desempeño de sus laboratorios asociados, específicamente el laboratorio de Genética y Radiobiología, es parte fundamental de la historia de la ciencia en México, ya que permite comprender el desarrollo de la genética en nuestro país. Este estudio permitirá entender la confluencia entre el desarrollo de la física

nuclear y el nacimiento de la genética en México en el contexto del movimiento internacional de la posguerra.

CAPÍTULO 1. LOS ORÍGENES DE LA FÍSICA NUCLEAR EN MÉXICO

En México, el uso de radioisótopos y radiaciones data de la segunda década del siglo XX, con un mayor auge en los años cuarenta. En la década siguiente, se puso en marcha el uso de gammagrafías para uso industrial. Las investigaciones sobre energía nuclear podrían parecer una actividad reciente, sin embargo, en nuestro país se iniciaron desde la década de los cincuenta (ININ, 1996). El origen de la física nuclear se remonta al término de la Primera Guerra Mundial y fue introducida a México de manera más tardía, pues su desarrollo comienza en la década de los años veinte y principios de los años treinta encabezado por Sotero Prieto Rodríguez (1884-1935), quien logra adquirir con apoyo institucional los conocimientos físicos para difundirlos en nuestro país (Barahona, 2009). El estudio de la física en México inició formalmente en 1937 cuando se fundó la Escuela Nacional de Ciencias Físicas y Matemáticas, dirigida por Ricardo Monges López, consolidándose en 1939 con la creación de la Facultad de Ciencias y el Instituto de Física de la UNAM, siendo los fundadores de este último, el Dr. Alfredo Baños, quien era el director así como los investigadores Manuel Perrusquía y Héctor Uribe.¹ (ININ, 1996).

Por otra parte, el gran desarrollo logrado por los Estados Unidos en el campo de la física nuclear tuvo lugar a partir del *Proyecto Manhattan* (encargado de construir la bomba atómica). Este proyecto ocurrió en el más absoluto secreto y reunió a un grupo importante

¹ <http://www.inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/ANTECEDENTES.pdf> Consultado el 29 de Enero de 2014.

de científicos, no sólo especialistas en física, sino también en química e ingeniería; entre quienes se encontraban Niels H. D. Böhr (1885-1962), Enrico Fermi (1901-1954), James Chadwick (1891-1974) y John von Neumann (1903-1957), todos ellos reunidos bajo la dirección de Julius Robert Oppenheimer (1904-1967). El cual culminó el 16 de Julio de 1945 con la prueba de un arma nuclear en Alamogordo, Nuevo México (prueba Trinity) y con los bombardeos atómicos de Hiroshima y Nagasaki unas semanas más tarde. Gracias al desarrollo del Proyecto, se formaliza el estudio de la energía nuclear y con esto, el desarrollo de la física nuclear en los Estados Unidos (Barahona, 2009; Domínguez, 2012).

Como resultado de las bombas de Hiroshima y Nagasaki el 6 y 9 de agosto de 1945 en Japón, finalizó la Segunda Guerra Mundial, y comenzó la era atómica. A partir de ese momento, la comunidad internacional comienza a redoblar esfuerzos para entender cuáles eran los efectos mutagénicos de las radiaciones en la población humana (Barahona, 2009). Las Naciones Unidas (ONU) empezaron a existir oficialmente el 24 de octubre de 1945, con el objeto de contribuir a estabilizar las relaciones internacionales y dar mayor consistencia a la paz, ya que en medio de la amenaza de la guerra nuclear y de conflictos regionales que parecían no tener fin, las misiones de paz se convirtieron en una prioridad absoluta de las Naciones Unidas.² Muchas organizaciones, como la Rockefeller Foundation, emprendieron esfuerzos económicos para entender la naturaleza del material genético, obteniendo como resultado el descubrimiento de la estructura del ADN y con esto, el desarrollo de la biología molecular. En los años subsecuentes a la Segunda Guerra Mundial, Hermann J. Muller subrayó los peligros de la ignorancia sobre los efectos genéticos de las radiaciones. Durante la conferencia *Nuestra Carga de Mutaciones*, ofrecida ante la American Society of Human Genetics en 1949, Muller dio a conocer el concepto de

² <http://www.un.org/es/aboutun/history/achieve.shtml> Consultado el 30 de Enero de 2014.

“carga de mutación” (*load of mutations*) y describió que las mutaciones recesivas son invisibles en condiciones de heterocigocidad, por lo cual éstas son eliminadas lentamente y permanecen en las poblaciones por varias generaciones (Barahona, 2009).

La presencia de convenios de cooperación y apoyo, tanto científico como tecnológico, propició la incorporación de programas de investigación en física nuclear durante los años cuarenta, los cuales estuvieron formados por los primeros científicos mexicanos egresados de instituciones norteamericanas como el Massachusetts Institute of Technology (MIT), Harvard o la Universidad Johns Hopkins, todos ellos becarios de la Fundación Guggenheim. Se trata de los doctores en ciencias Manuel Sandoval Vallarta (1899-1977) y Alfredo Baños (1905-1994) y posteriormente Carlos Graef Fernández (1911-1988) y Nabor Carrillo (1911-1967), especializados en física con excepción del último, quien se dedicó a la mecánica de suelos. Asimismo, debieron laborar como funcionarios dentro de la administración pública federal dado el muy escaso número de científicos del que disponía el país hasta la primera mitad del siglo XX. Por haber realizado sus estudios científicos en Estados Unidos, las labores profesionales de estos personajes quedaron caracterizadas por lo que se podría llamar “el estilo norteamericano de hacer ciencia” (Barahona 2009; Domínguez, 2012).

A raíz de las detonaciones secretas en Alamogordo y los estallidos nucleares en Japón, se convenció a las autoridades mexicanas y a los científicos sobre la urgencia de incorporarse a la física nuclear. De esta manera fue posible que Nabor Carrillo presenciara la prueba nuclear “Baker” en el Atolón de Bikini, en medio del Océano Pacífico, que tuvo lugar el 1 y el 25 de julio de 1946. En ese tiempo, Carrillo era coordinador de la Investigación Científica de la Universidad Nacional, jefe de la sección de Investigaciones Mecánicas de

la Comisión Impulsora y Coordinadora de la Investigación Científica en México (Domínguez, 2012).

Unos años antes, en 1939, el Dr. Alfredo Baños fue asignado director del Instituto de Física, el primer doctor en física residente en México. Con él se inician los primeros programas de investigación en física nuclear. Asimismo, la materia de física atómica fue introducida en la licenciatura en Física en la Facultad de Ciencias. La construcción del Observatorio Astronómico de Tonanzintla, Puebla, representó una muestra del creciente interés por el desarrollo de la física en México (Barahona, 2009; Domínguez, 2012).

Desde el hallazgo de los depósitos radiactivos en el noroeste de México, fue indispensable la creación de nuevos laboratorios en el país dedicados al estudio de los minerales radiactivos (Bulbulian & Rivero Espejel, 2012). Por otra parte, el efecto mundial del bombardeo en Japón fue inmediato y aún sin el conocimiento que las radiaciones hubieran podido dejar en la población humana sobreviviente, se hizo evidente el desarrollo que tenía la ciencia y la tecnología así como las consecuencias sociales que esto dejó. Numerosos países de América Latina como México, Brasil y Argentina, que apenas habían incursionado en el campo de la física atómica y con un retraso científico considerable con respecto a las naciones del primer mundo, sintieron la necesidad de participar de manera activa en programas de investigación internacionales (Barahona, 2009). El atraso que estos países tenían, tendría que ser corregido con programas de formación de profesionales, la creación de programas de investigación, la obtención de equipos, la obtención de financiamiento y el establecimiento de convenios de intercambio y colaboración (Domínguez, 2012). De esta manera crece el interés en México por el estudio de la energía atómica. A partir de 1950, autoridades universitarias como el rector Luis Garrido y el coordinador de la Investigación Científica, Nabor Carrillo, instauraron programas de

investigación en física nuclear. A ellos se debe la obtención del acelerador de partículas Van de Graaff. El acelerador de 2 millones 200 mil MeVolts fue construido por la *High Voltage Engineering Corporation*, con sede en Cambridge, Massachusetts. Su llegada marcó el inicio de varios proyectos así como el aumento y el fortalecimiento de relaciones y colaboraciones institucionales de científicos mexicanos y extranjeros (Barahona, 2009; Domínguez, 2012).

En la Conferencia Internacional sobre uso de energía nuclear con fines pacíficos, convocada por la ONU del 8 al 20 de diciembre de 1953, en Ginebra, Suiza, el entonces presidente de los Estados Unidos Dwight D. Eisenhower, dio un discurso conocido como *Atoms for Peace*, enfocado a detener los usos bélicos de la energía nuclear y ofrecer tecnología nuclear pacífica a la humanidad. Igualmente proponía apoyar cualquier plan de investigación en todo el mundo enfocado en los usos pacíficos más eficientes del material fisiónable. Esta alternativa convenció a las naciones de la importancia de incorporarse a la tecnología nuclear para la producción de energía (Barahona, 2009; Domínguez, 2012).

De la conferencia ante la Asamblea General de la ONU, se derivó la solicitud a crear una nueva agencia con el nombre de Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), con el propósito de desarrollar, vigilar y regular los usos de la energía nuclear y de los radionúclidos en el mundo; ésta iniciaría funciones en octubre de 1957 con sede en la ciudad de Viena. La ONU incentivó a sus países miembros a participar y crear sus propias comisiones nacionales y asistir a las asambleas realizadas con el propósito de adquirir el conocimiento producido a nivel global y establecer mecanismos de control. De esta manera en México se promueve la creación de la CNEN que empezó funciones a partir de 1956 (Barahona, 2009; Domínguez, 2012).

CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES DE LA COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA NUCLEAR (CNEN)

El 25 de octubre de 1955 el Poder Ejecutivo Federal presentó a los secretarios de la Cámara de Diputados de la XLIII Legislatura la iniciativa de Ley para crear la CNEN. “Se dice en dicha iniciativa que nuestro país no puede quedar al margen de los desarrollos derivados de los adelantos técnicos logrados en el campo de la energía nuclear que, al constituir una nueva fuente de energía, proporciona grandes beneficios a la humanidad, siendo también de incalculable importancia otras aplicaciones en el campo no energético”.³

Para entonces, Brasil, Venezuela, Chile, Argentina, Colombia, Uruguay y Perú eran los países latinoamericanos que tenían suscritos tratados bilaterales de cooperación en energía nuclear con los Estados Unidos (Domínguez, 2012). La formación de la OIEA y los discursos de Nabor Carrillo y Manuel Sandoval Vallarta incitaron al gobierno a formar un organismo oficial para el desarrollo de las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear, y el 31 de diciembre de 1955, el presidente Ruiz Cortines expidió la ley constitutiva que creaba la CNEN,⁴ “como el primer organismo oficial en México dedicado al desarrollo de la ciencia y la tecnología nuclear con fines pacíficos”.⁵

“En esta Ley, se establece que los materiales nucleares, son siempre, y en todo caso, propiedad de la Nación. El Estado, por conducto de la Comisión creada, tiene el control de la exploración y explotación de los yacimientos de mineral radiactivos. La propia

³ <http://www.juridicas.unam.mx/publica/librev/rev/jurid/cont/12/pr/pr28.pdf> Consultado el 28 de Enero de 2014.

⁴ <http://www.inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/LA%20COMISION.pdf> Consultado el 15 de Enero de 2014.

⁵ <http://www.inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/PRESENTACI%C3%93N1.pdf> Consultado el 15 de enero de 2014.

Comisión está facultada para concertar contratos con los particulares para realizar los trabajos respectivos que sólo tiene derecho a una retribución justa y equitativa en compensación de los trabajos que se realicen. Establece también el control del Estado en producción y uso de la energía nuclear, pero la Comisión podrá conceder permisos para la importación y exportación de equipos para el aprovechamiento de la energía nuclear, para el comercio y transporte interior de los mismos y para la reproducción y uso de la energía nuclear”.⁶ La misma ley controlaba la obtención y el uso de la energía nuclear destinada principalmente a satisfacer las necesidades nacionales y las investigaciones científicas en el campo de la física nuclear, disciplinas afines y técnicas conexas.⁷ Los materiales que fueron incluidos en el artículo 2º de la ley son: el uranio, el torio, y todo elemento del que se pueda obtener energía por medio de reacciones nucleares en cantidades importantes. Asimismo los artículos 7º y 8º de dicha ley, señalan que el Presidente de la República nombraría y removería libremente a tres miembros que integraran la Comisión, quienes dependerían libremente del Ejecutivo Federal, y serían apoyados por un Consejo Consultivo integrado por los miembros que a juicio del Presidente fueran convenientes (Diario Oficial de la Federación, 1953; Barahona, 2009). Este ordenamiento entró en vigencia el primero de enero de 1956, sin embargo, la Comisión comenzó a trabajar a finales del mismo año (Bulbulian & Rivero Espejel, 2012), cobrando mayor intensidad a partir del primer semestre de 1957.⁸

Esta institución desarrolló dos actividades principales: 1) un programa de entrenamiento en técnicas con radioisótopos e instrumentación nuclear, que se llevó a cabo

⁶ <http://www.juridicas.unam.mx/publica/librev/rev/jurid/cont/12/pr/pr28.pdf> Consultado el 28 de Enero de 2014.

⁷ <http://www.inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/LA%20COMISION.pdf> Consultado el 15 de Enero de 2014.

⁸ <http://www.inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/LA%20COMISION.pdf> Consultado el 7 de noviembre de 2013.

en la Facultad de Ciencias de la UNAM en colaboración con el Instituto de Física, y 2) la creación de programas especializados y laboratorios. En ese momento, la áreas del Instituto Nacional de Investigación Científica (INIC) encargadas del estudio de la radiactividad y el inventario de los minerales radiactivos, se incorporaron a la nueva Comisión⁹ (Bulbulian & Rivero Espejel, 2012). "El principal objetivo de la CNEN era el control, la vigilancia, la coordinación, el fomento y la realización de la exploración y explotación de los yacimientos de materiales atómicos, así como su posesión, exportación e importación, comercio y transporte".¹⁰

El Gobierno de la República otorgó a la CNEN el terreno para la edificación del Centro Nuclear, por medio de un decreto que se publicó en el Diario Oficial de la Federación (DOF) el jueves 30 de enero de 1964¹¹ y el 9 de mayo se empezó a construir el Centro Nuclear "Nabor Carrillo Flores" en el municipio de Ocoyoacac, cerca del poblado de Salazar, Estado de México. Tan solo dos años después, se contaba ya con un acelerador de iones positivos Tandem Van de Graaff y para 1968 el centro ya contaba con el reactor nuclear TRIGA Mark III, lo que, aunado a otros laboratorios, dotó al Centro Nuclear de instalaciones únicas en el país.¹² Con estos hechos se consolidó la física nuclear en México hacia finales de la década de 1970 (Barahona, 2009).

El entonces presidente de la CNEN, Fernando Alba Andrade preparó en 1971 un proyecto sobre la creación del Instituto Nacional de Energía Nuclear (INEN) en lugar de la

⁹ <http://www.inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/LA%20COMISION.pdf> Consultado el 28 de Enero de 2014.

¹⁰ <http://www.inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/LA%20COMISION.pdf> Consultado el 15 de Enero de 2014.

¹¹ <http://www.inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/EL%20CENTRO%20NUCLEAR.pdf> Consultado el 15 de marzo de 2014.

¹² <http://www.inin.gob.mx/plantillas/acercadeinin.cfm?clave=2> Consultado el 10 de noviembre de 2013

CNEN. El presidente de la República Luis Echeverría Álvarez remitió la iniciativa al Congreso de la Unión el 21 de diciembre de 1971; ésta Iniciativa de Ley fue aprobada por el Senado el 29 de diciembre de 1971 y el 30 del mismo mes por la Cámara de Diputados. El 12 de enero de 1972, se publicó en el DOF, la Ley Orgánica que creaba el INEN, dependiente de la Secretaría del Patrimonio Nacional. En su Artículo 5º, la Ley Orgánica del INEN manifestó que los trabajadores a cargo de la CNEN pasarían con sus mismos derechos al nuevo Instituto.¹³ El propósito del nuevo organismo era tomar las facultades de investigación y de vigilancia normativa. El 26 de enero de 1979, de acuerdo con la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia de Energía Nuclear, conocida como la Ley Nuclear, se establecieron instituciones con el propósito de separar funciones (Barahona, 2009): Uranio Mexicano (URAMEX) que estaba a cargo de los procesos de extracción y beneficio de uranio, incluyendo la contratación de servicios de enriquecimiento (ya desaparecida); Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS) responsable de la seguridad nuclear, radiológica, física y las salvaguardias; Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), responsable de la investigación, desarrollo y entrenamiento en el campo nuclear, incluyendo el almacenamiento, manejo, transporte y tratamiento de desechos radiactivos y la Comisión Nacional de Energía Atómica que nunca entró en funciones (ININ, 2008).

“Sin embargo, al cambiar el nombre, no varió el objetivo para el que fue creada la Institución y que hasta la fecha ha prevalecido: planear y realizar investigación y desarrollo en el campo de las ciencias y tecnologías nucleares, así como promover los usos pacíficos de la energía nuclear y difundir los avances para vincularlos al desarrollo económico, social,

¹³ <http://www.inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/EL%20INEN.pdf> Consultado el 25 de marzo de 2014.

científico y tecnológico del país”.¹⁴ Finalmente la creación de esta Comisión fue elogiada por los Estados Unidos y marcó la separación entre el desarrollo de la física nuclear en tanto disciplina científica, y sus aplicaciones tecnológicas a otros campos (Barahona, 2009).

CAPÍTULO 3. LA CNEN Y SUS LABORATORIOS

En la CNEN se agruparon los trabajos en materia nuclear realizados aisladamente en instituciones recientes de aquella época, como el Instituto de Física de la UNAM, la Comisión Impulsora y Coordinadora de la Investigación Científica (CICIC), y otras que, como la CNEN, habían sido promovidas rápidamente por dos distinguidos mexicanos: los doctores Nabor Carrillo Flores y Manuel Sandoval Vallarta.¹⁵

Se esperaba que el Dr. Nabor Carrillo se hiciera cargo de la CNEN más no pudo ocupar el cargo puesto que cumplía con su periodo como rector de la UNAM (1953-1961). Así, el primero de junio de 1956 el presidente Adolfo Ruiz Cortines nombró al Lic. José María Ortiz Tirado a encabezar la recién formada CNEN, y cuya conversación fue la siguiente:¹⁶

- José María, le va a caer una bomba atómica, dijo el Presidente.
- ¿Y por qué señor Presidente?
- Porque lo acabo de nombrar presidente de la Comisión Nacional de Energía Nuclear, respondió.

¹⁴ <http://www.inin.gob.mx/plantillas/acercadeinin.cfm?clave=2> Consultado del 15 de marzo de 2014.

¹⁵ <http://www.inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/PRESENTACI%C3%93N1.pdf> Consultado el 28 de Enero de 2014.

¹⁶ <http://www.inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/LA%20COMISION.pdf> Consultado el 28 de Enero de 2014.

- ¿Y por qué a mí?
- Bueno, pues porque a usted lo escogí.
- Y ¿qué cosa es la Comisión Nacional de Energía Nuclear? Yo no sé qué es eso.
- Pues yo menos, contestó el Presidente. La razón por la que le di ese puesto es que nombré a dos vocales, que son de nuestros sabios mexicanos y usted tiene que estar ahí para coordinarlos.
- Pero ¡si yo soy abogado!, replicó Ortiz Tirado.
- Precisamente por eso, concluyó.¹⁷

Asimismo, nombró al 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, el Ing. Eduardo Díaz Lozada, el Dr. Carlos Graef Fernández, el M. C. José Mireles Malpica y al Ing. Jorge Suárez Díaz como miembros del Consejo Consultivo. En la Secretaría General al Lic. Salvador Cardona, en la Dirección de Relaciones, al Sr. Tomás Gurza y en la Subdirección al Lic. Andrés Lozana y al Profesor Pedro Zamora como bibliotecario (Bulbulian & Rivero Espejel, 2012). Desde ese momento Ortiz Tirado comenzó a preparar la ley que organizaría la CNEN. Al cabo de unos meses de trabajo, la Comisión tomó su primer local en Insurgentes Sur N° 1079 de la Ciudad de México.¹⁸

“Al asumir la presidencia Gustavo Díaz Ordaz, el 1° de diciembre de 1964, eligió como titular de la CNEN a José Gorostiza, cargo que ocupó de 1964 a 1970. Esto significó un duro golpe para Nabor Carrillo, quien ya había terminado su segundo periodo como rector de la UNAM y aspiraba a la presidencia de la Comisión. No obstante, la influencia de

¹⁷ <http://www.inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/LA%20COMISION.pdf> Consultado el 7 de noviembre de 2013.

¹⁸ <http://www.inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/LA%20COMISION.pdf> Consultado el 28 de Enero de 2014.

Nabor Carrillo sobre el Centro Nuclear, así como había ocurrido desde la integración de la CNEN fue determinante para la toma de decisiones”.¹⁹

La CNEN se formó con dos campos de interés, las aplicaciones energéticas y no energéticas, y los estudios en ciencias nucleares. Los programas con los que inició fueron nueve: física nuclear, educación y capacitación, seminarios, reactores, radioisótopos, aplicaciones industriales de la radiación, agronomía, genética y protección radiológica.²⁰ En un principio, los laboratorios de la CNEN estaban dispersos por toda la Ciudad de México.²¹

3.1 El Programa de Física Nuclear

El programa de Física Nuclear, fue creado en 1960, con dos campos principales: la estructura del núcleo atómico, y la estructura de las partículas que lo integran, así como su fuerza de amarre. Las investigaciones, en ambos terrenos, se llevaron a cabo en lo teórico y en lo experimental.

Para la investigación en física nuclear experimental se contaba con dos aceleradores: un Van de Graaff propiedad de la UNAM y otro acelerador, construido en la misma Universidad con la cooperación económica de la CNEN. El Programa de física nuclear contaba con varios laboratorios:

- a) El laboratorio de radiación electromagnética, encargado de capacitar al personal en diversos campos de la cibernética y construir equipo electrónico de alta calidad.

¹⁹<http://www.inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/EL%20CENTRO%20NUCLEAR.pdf> Consultado el 15 de marzo de 2014.

²⁰ <http://www.inin.gob.mx/plantillas/acercadeinin.cfm?clave=2> Consultado el 10 de noviembre de 2013.

²¹ <http://www.inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/LA%20COMISION.pdf> Consultado el 7 de noviembre de 2013.

Prestaba servicio regularmente a facultades de la UNAM, el Instituto Politécnico Nacional (IPN) y otros centros de estudios.

- b) EL laboratorio de radioquímica, en donde se efectuaban trabajos de investigación como: absorción de radiaciones gamma en materiales de construcción mexicanos, medida de productos de desintegración de torio, separación cromatográfica de estroncio-90 e itrio-90, separación cromatográfica de circonio-95 y niobio-95 y determinación de uranio en aceitunas y aceite de oliva (ININ, 1966).

3.2 El Programa de Aplicaciones Industriales de la Radiación

El objetivo principal del Programa fue comenzar investigaciones enfocadas a estimular un progreso tecnológico en nuestro país que proporcionó el empleo de las radiaciones ionizantes en la producción industrial (CNEN, 1970). Para este programa se instalaron tres centros de investigación. El primero en el Departamento de Investigaciones Científicas de la Universidad de Guanajuato, que tenía un acelerador de electrones tipo Van de Graaff, donde se realizaron estudios de química con radiaciones. Asimismo se efectuaron trabajos para el control de unidades raspadoras destinadas a la limpieza interior de los oleoductos de PEMEX Salamanca-Guadalajara y Salamanca-Aguascalientes; en ellos se utilizó una fuente de gamma con trazador. El segundo centro se estableció en la refinería Antonio M. Amor de PEMEX en Salamanca, Gto. Para este centro se construyeron laboratorios por cuenta de PEMEX, que fueron dotados de equipo por la CNEN. El propósito era estudiar problemas cuyas soluciones pudieran beneficiar a otras refinerías. El tercero se estableció en la Ciudad de México como un programa de aplicaciones industriales (ININ, 1996).

3.3 El Programa Agronómico

El propósito de este programa consistió en tratar de ayudar a la solución de problemas de aplicaciones inmediatas de carácter regional en zonas de importancia agrícola en el país (CNEN, 1970).

Desde 1962 se llevaron a cabo actividades sobre mejoramiento genético, producción de semillas, creación de tipos vegetales diferentes y mutaciones. En dichas actividades se utilizaron las radiaciones ionizantes para inducir transformaciones permanentes y transitorias en los vegetales (ININ, 1996).

3.4 El Programa de Educación y Capacitación

En este programa destacan los “Cursos de Técnicas Básicas en Radioisótopos e Instrumentación Nuclear”, que inician en junio de 1958 y se imparten por varios años más. Dichos cursos tuvieron lugar en la Facultad de Ciencias de la UNAM, la cual facilitó sus laboratorios a la Comisión y contó con personal docente de la UNAM y del IPN, que al mismo tiempo formaba parte de la planta de científicos e investigadores de la CNEN. En 1960, la OIEA facilitó a la Comisión un Laboratorio móvil de radioisótopos, que visitó varias ciudades de la República, despertando gran interés. En el mismo año, inició el Curso de Medicina Nuclear, que cambió de nombre (varios años después) a “Aplicaciones Médicas de los Radioisótopos”, a cargo del Programa de Medicina Nuclear de la propia Comisión. En 1962 se creó el Curso de Radiobiología y el curso “Bases Físico-Químicas de Radioquímica”, ambos impartidos en la Facultad de Ciencias de la UNAM y financiados por la CNEN (ININ, 1996).

3.5 Los Seminarios

En este rubro destacaba el Seminario de Física. Durante los años cincuenta y parte de los sesenta físicos y matemáticos de renombre mundial como Glaser, Oppenheimer, Peierls, Wiener, Lemmâitre, Wightman, Wigner, Lowdin y Huber, entre otros dictaron conferencias. Asimismo, casi todos los trabajos mexicanos de física, fueron discutidos en este seminario (ININ, 1996).

3.6 El Programa de Reactores

El Programa de Reactores comenzó en 1960 y su actividad se desarrolló principalmente a través del llamado “grupo de reactores”, que estuvo integrado por varios científicos especializados en el área. Asimismo, elaboró trabajos de cálculos de redes para reactores subcríticos, ingeniería de reactores, química de reactores y materiales nucleares. Dicho Programa estaba formado por tres dependencias: 1) el Laboratorio de Tecnología Nuclear, que contaba con equipo especializado para aprovechar la materia prima; 2) el Programa del Reactor, que trabajó en problemas relacionados con física de reactores nucleares y 3) La Sección de Materiales Nucleares, que se encargó de llevar a cabo estudios químico-metalúrgicos en materiales nucleares (ININ, 1996).

3.7 El Programa de Radioisótopos

Este programa tomó en cuenta dos usos básicos de los radioisótopos, como son: trazadores, que fueron utilizados para calcular volúmenes sanguíneos y radiocardiogramas, débito cardiaco, localización de tumores cerebrales, metabolismo de proteínas y control

transoperatorio con circulación extracorpórea, como fuentes de irradiación para inducir alteraciones en la materia viva. El Programa de radioisótopos tenía tres áreas:

- i. El Laboratorio de dilución, el cual importaba grandes cantidades de radioisótopos y proporcionaba al sector salud dosis tan pequeñas como fueran necesarias a precios bajos.
- ii. El Laboratorio de normas radiactivas, donde se realizaban medidas de precisión de fuentes de radiaciones ionizantes.
- iii. Medicina nuclear, con 5 objetivos fundamentales: a) la creación y desarrollo de métodos y procedimientos en que se utilizaban los radioisótopos como agentes de información; b) la utilización práctica de radioisótopos como fuentes de energía ionizante para uso médico; c) el estudio de la Física Nuclear para el conocimiento de las fuentes de radiación; d) el estudio de los efectos patológicos de las radiaciones sobre materia viva, sobre todo del organismo humano; e) el desarrollo de tecnología nuclear orientada al uso de energía radiactiva (ININ, 1996).

3.8 El Programa de Protección Radiológica

Promovió la adecuada protección, tanto de salud pública, como del personal expuesto. Asimismo, se encargó de programas de Fabricación de aparatos (con un Laboratorio de Construcción de Equipo y de Contadores) y de Instrumentación (con laboratorios de Cristalografía, Instrumentos y Dispositivos Especiales) (ININ, 1996).

3.9 El Programa de Genética

Este programa se creó en 1960 y tenía cuatro objetivos principales: a) investigación del proceso hereditario; b) investigación de los efectos genéticos de las radiaciones; c) aplicación de la técnica genética a la medicina y la biología; y d) adiestramiento técnico, enseñanza y divulgación científica. Fue el primer programa en México dedicado a la investigación en genética y radiobiología. Tuvo, en un principio, cinco laboratorios: Genética humana, Genética de *Drosophila*, Genética de mamíferos (ratones), Bioquímica, y Radiogenética y Radioimágenes (ININ, 1996).

CAPÍTULO 4. ALFONSO LEÓN DE GARAY Y EL PROGRAMA DE RADIOBIOLOGÍA Y GENÉTICA

La institucionalización de la genética en México ocurrió a partir de 1960, cuando Alfonso León de Garay (1920-2002) fundó el Programa de Genética y Radiobiología dentro de la CNEN (Fig. 1). Este programa, comprendía investigaciones en diferentes ramas de la genética, la docencia en distintos centro de educación superior y la formación de personal académico y técnico en universidades estadounidenses y europeas (Barahona, 2006). El propósito del Programa de Genética, en el año de 1960, era “contribuir a la conservación de la salud, mejoramiento físico y mental y prevención de enfermedades, mediante la investigación de los factores que intervienen, favorablemente o desfavorablemente, en la herencia biológica de la población” (De Garay, 1960).



Figura 1. Dr. Alfonso León de Garay, director del Laboratorio. El Dr. Alfonso León de Garay trabajando en la Sección de Cultivo de Tejidos. (Fotografía tomada del *Informe Anual de 1960*, De Garay, 1960).

Alfonso León de Garay (1920-2002) nació en la ciudad de Puebla de Zaragoza en 31 de enero de 1920; estudió la licenciatura en la Universidad Autónoma de Puebla (UAP), obteniendo el título de Médico Cirujano y ejerció la profesión médica en la especialidad de psiquiatra. Consiguió la Maestría en Ciencias (Biología) en la Facultad de Ciencias de la UNAM el 30 de enero de 1976 y el Doctorado en Ciencias (Biología) en la misma Institución en octubre de 1978, bajo la dirección de Alfredo Barrera.²²

De Garay se percató de la importancia de la radiobiología desde el comienzo de su carrera científica. En 1957, apoyado por el Lic. Alfonso Ortiz Tirado, Presidente de la

²² http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/rica/acervo/vol_21_1/sup_1/1.pdf Consultado el 29 de marzo de 2014.

entonces CNEN, y por el Dr. Alexander Hollaender, encargado de la División de Biología en el Laboratorio de Oak-Ridge,²³ realizó una estancia para obtener conocimiento sobre radiobiología en esta institución que le aportó bases sólidas en ese campo que apenas era estudiado en México.²⁴

Para lograr instituir a la radiobiología como un campo de investigación importante en México, de Garay profundizó sus conocimientos asistiendo, en 1958, a un Curso Internacional sobre Técnicas en Radioisótopos en Puerto Rico.²⁵ Esto continuó en 1959 y 1960 cuando decidió hacer estudios doctorales en el extranjero y gracias al apoyo de la OIEA, fue becado y pudo realizar sus estudios durante dos años bajo la dirección del Dr. Lionel S. Penrose en el Laboratorio Galton del University College de Londres, y donde enfocó sus estudios en genética de poblaciones. En Inglaterra conoció a reconocidos evolucionistas como John Maynard Smith, Jonh Burdon Sanderson Haldane y Ronald Fisher de quienes aprendió genética de poblaciones; gracias a estas relaciones pudo invitar al país a investigadores en el campo como Hans Kalmus, Krishna Dromanrajú, Louis Levine y a Theodosius Dobzhansky (Barahona, 2009). También, durante este período, asistió a cursos de Protección Radiológica y Técnicas en Radioisótopos y Autorradiografía en los Establecimientos de Investigación Atómica en Harwell, Inglaterra.²⁶

De Garay asistió a la asamblea general de la OIEA –realizada en Inglaterra– y fue ahí donde conoció a José María Ortiz Tirado, Nabor Carrillo Flores, Manuel Sandoval

²³ http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/rica/acervo/vol_21_1/sup_1/1.pdf Consultado el 29 de marzo de 2014.

²⁴ http://www.inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/Contacto_30_IN_MEMORIAM.pdf Consultado el 29 de marzo de 2014.

²⁵ http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/rica/acervo/vol_21_1/sup_1/1.pdf Consultado el 29 de marzo de 2014.

²⁶ http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/rica/acervo/vol_21_1/sup_1/1.pdf Consultado el 29 de marzo de 2014.

Vallarta y Salvador Carmona, los representantes de la delegación mexicana, quienes reconocieron su conocimiento en el campo de la radiobiología y lo incentivaron a finalizar sus estudios y regresar a su país natal para establecer un laboratorio de radiobiología e iniciar con estudios acerca de los efectos de las radiaciones en la salud humana (Barahona, 2009). De Garay regresó a México a finales de 1959 y un año después, convencido de la importancia de la genética —en aquel entonces casi desconocida en nuestro país— y como reconocimiento a la profundidad de sus conocimientos en el campo de la radiobiología,²⁷ en 1960 fundó el Programa de Genética y Radiobiología de la CNEN, del que fue director hasta 1971.²⁸

“El 23 de julio de 1965, con motivo del primer centenario de la presentación de los trabajos de G. Mendel, organizó la Reunión Conmemorativa, evento que congregó a genetistas de todo el país y significó un punto de partida de las investigaciones en genética. Se lograron esfuerzos conjuntos de varias de las instituciones invitadas y se fundó la Sociedad Mexicana de Genética (SMG), siendo el Dr. De Garay su primer presidente”.²⁹

4.1 El Programa de Genética 1960-1965

En 1960, el Programa de Genética contaba con un laboratorio destinado exclusivamente a la investigación genética, incluyendo el uso de radiaciones ionizantes. Su empleo implicaba dos aspectos: la irradiación del material experimental con fines de producir cambios genéticos y el uso de radioisótopos como trazadores. El Laboratorio a cargo del Dr. Alfonso

²⁷http://www.inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/Contacto_30_IN_MEMORIAM.pdf
Consultado el 29 de marzo de 2014.

²⁸ http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/rica/acervo/vol_21_1/sup_1/1.pdf Consultado el 29 de marzo de 2014.

²⁹http://www.inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/Contacto_30_IN_MEMORIAM.pdf
Consultado el 29 de marzo de 2014.

León de Garay, estaba formado por seis secciones principales: I) cultivo de tejidos, donde se realizaban estudios de citología y análisis genético, a cargo de la Biol. María Cristina Cortinas Durán y como adscrito la Biol. María Teresa Zenzes Eisembach; II) fotografía (microfotografía y autorradiografía), bajo la dirección del Técnico auxiliar de laboratorio José Luis Aguilar Urzaíz; III) bioquímica y radioquímica, principalmente para el estudio de disturbios genéticos de los llamados “errores” del metabolismo; IV) enseñanza, donde se ofrecía preparación de material de enseñanza y adiestramiento de personal en número limitado; V) trabajo de *D. melanogaster*, con experimentación convencional, adiestramiento y cómputo de mutaciones, incluyendo material irradiado, teniendo como jefe al Biol. Rodolfo Félix Estrada, y como adscritos el Biol. Víctor Manuel Salceda Sacanelles y a la Biol. Claudina Berlanga Siller; VI) estadística y trabajo social, realizando trabajos sobre problemas de genética de poblaciones y estudios sobre familias, condiciones de vida, etc. (Fig. 2) (De Garay, 1960).



Figura 2. Personal del Laboratorio de Genética (1960). 1) Biol. Rodolfo Félix Estrada; 2) Biol. María Cristina Cortinas Durán; 3) Biol. María Teresa Zenses; 4) Técnico José Luis Aguilar Urzaíz; 5) Dr. Alfonso León de Garay; 6) Biol. Víctor Manuel Salceda Sacanelles; 7) Biol. Claudina Berlanga Siller. (Fotografía tomada del *Informe Anual de 1960*, De Garay, 1960).

Durante este periodo se encontraban funcionando las secciones de cultivo de tejidos, fotografía y trabajo con *D. melanogaster*, mientras que el resto de las secciones estaban en proceso de instalación. También, se disponía de técnicos nacionales con entrenamiento apropiado y se contaba con el equipo necesario (De Garay, 1960).

Las instalaciones estaban ubicadas en una unidad habitacional en la Ciudad de México, subdividida para sus diversas secciones, por un lado el trabajo de cultivo de tejidos, citología y estudios cromosómicos, en otro local se trabajaba la investigación con *D. melanogaster*, y por el otro, un local para el trabajo de fotografía. A pesar de contar con equipo instrumental necesario, de Garay se mostraba muy optimista al decir que “Se dispone de técnicos nacionales con entrenamiento adecuado y se cuenta con el equipo

necesario, líneas de investigación desarrolladas en paralelo con otros laboratorios, así como profesores internacionales dedicados a la aplicación de técnicas avanzadas en investigación genética. Las investigaciones en este laboratorio, conducidas en concordancia con algunas de las principales líneas que siguen otros laboratorios en el mundo, y una vez contratado el personal idóneo y adquirido el equipo necesario, se ha desarrollado en su etapa inicial (dos meses de trabajo) a un ritmo que pudiera calificarse de muy acelerado” (De Garay, 1960).

En la *Sección de Cultivo de Tejidos*, se lograron ejecutar técnicas para el estudio de cromosomas humanos, se logró el análisis cromosómico sobre fotografías tomadas de las preparaciones donadas por el Dr. Lionel S. Penrose, Director del Galton Laboratory, procedentes de un cultivo de piel de un caso de síndrome de Down. Las investigaciones sobre los cromosomas humanos realizadas durante este periodo, perfeccionaron diversas técnicas que originaron resultados de gran importancia para la comprensión del mecanismo genético de algunos padecimientos mediante el diagnóstico de los portadores. Ejemplos de ello son el síndrome de Down, disgenesias gonadales, malformaciones congénitas y alteraciones cromosómicas transitorias (Fig. 3). Las técnicas aplicadas a la investigación genética en nuestro país, ofrecieron a la Comisión la oportunidad de producir un trabajo confirmatorio de los hallazgos obtenidos en otros países, así como la posibilidad para la investigación y la aportación de hallazgos propios, dando lugar a la investigación genética en México y concretamente a la investigación biológica en Genética Humana (De Garay, 1960).



Figura 3. Micrografía de cromosomas humanos. Se muestra un caso de trisomía 21 (Síndrome de Down, 47 cromosomas). (Fotografía tomada del *Informe Anual de 1960*, De Garay, 1960).

En cuanto a los trabajos en la *Sección de Drosophila melanogaster*, ya se conocían los trabajos genéticos de H. J. Muller realizados sobre la mosca de la fruta, así como los efectos genéticos de las radiaciones sobre sus genes y cromosomas (De Garay, 1960).

Para 1961, “el estudio de los complejos fenómenos relacionados directa o indirectamente con la herencia biológica, está en la actualidad iniciando la etapa más trascendental a que tiende la evolución de las disciplinas científicas: el mejoramiento de la condición humana. El programa tiene como finalidad la aplicación de los conocimientos de genética acumulados en gran cantidad de años recientes, para contribuir al mejoramiento y conservación de la salud, prevención de enfermedades y como consecuencia, elevar el nivel físico y mental de la población. La investigación genética en este programa implica, asimismo, el estudio de los efectos genéticos de las radiaciones” (De Garay, 1961).

Para este año, el laboratorio estaba formado por siete secciones en las que se realizaban investigaciones en varios aspectos de la genética incluyendo el empleo de materiales radiactivos para estudiar el efecto genético derivado por radiaciones de diversos tipos. El equipo para las investigaciones aumentó de manera considerable, por lo que se obtuvieron resultados favorables en poco tiempo. Se ampliaron los locales y se hicieron adaptaciones para instalar el equipo de trabajo de cada sección. Para ese momento se realizaban investigaciones en las secciones de Cultivo de Tejidos, *Drosophila*, Bioquímica, Fotografía y Enseñanza. Mientras se estaba desarrollando el programa de las secciones de Estadística y Trabajo Social (De Garay, 1961).

En la *Sección de Cultivo de Tejidos* se estudiaron los cariotipos sanos y con algún error (los cuales en aquel tiempo se denominaban normales y anormales) obteniendo el primer cariotipo de la especie humana en el país. Esto fue logrado mediante la obtención de preparaciones analizables de cromosomas humanos, a partir de cultivos de sangre (Fig. 4). Otra parte del programa se dedicó a investigar la histología de varios órganos, elaborando preparaciones para estudiar la anatomía humana, resultando elemental para estudios histológicos sobre órganos expuestos a radiaciones (De Garay, 1961).

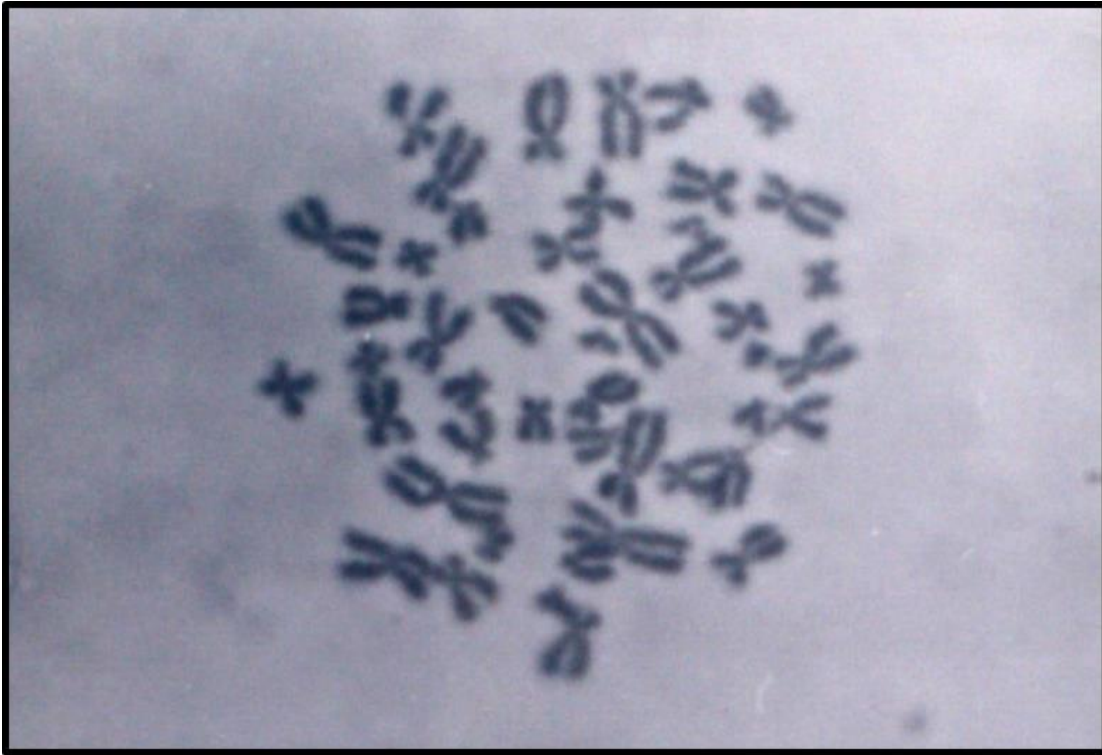


Figura 4. Cromosomas somáticos en cultivos de leucocitos humanos. Cariotipo normal masculino obtenido en la Sección de Cultivo de Tejidos. (Fotografía tomada del *Informe Anual de 1961*, De Garay, 1961).

Para la *Sección de Drosophila* se contaba con 57 líneas de mutantes procedentes de varias universidades y laboratorios de Estados Unidos. Dichas líneas se emplearon para comenzar experimentos en la detección de mutaciones de *D. melanogaster* mediante diversas técnicas. También se identificaron mutaciones producidas artificialmente por radiaciones ionizantes. “El estudio de la genética de *Drosophila*, ha permitido el establecimiento de los principios básicos de la herencia, y sigue siendo un material sumamente eficaz con el que se trabaja con gran intensidad en muchos centros de investigación, reportándose continuamente nuevos hallazgos que determinan adelantos considerables en el entendimiento de los complejos fenómenos involucrados en el mecanismo de la herencia” (De Garay, 1961). Por otra parte se estudió la estructura de los cromosomas salivales y ganglionares de *D. melanogaster* (Fig. 5), siendo otro aspecto

básico de la investigación, pues su conocimiento fue indispensable para la interpretación de las alteraciones cromosómicas producidas por las radiaciones ionizantes, no sólo en *D. melanogaster*, sino en mamíferos y en la especie humana (De Garay, 1961).

En la *Sección de Bioquímica*, se practicaron las técnicas de manejo de material radioactivo y medición de actividad de muestras de radioisótopos. Así mismo, se realizaron análisis de procesos normales y anormales del metabolismo dentro del proyecto de investigación llamado “errores del metabolismo”, empleado electroforesis y técnicas de cromatografía (De Garay, 1961).

En la *Sección de Fotografía* se llevó a cabo la investigación en microfotografía y radiografía, cuya aplicación fue más amplia en materia de la identificación de los cromosomas humanos y de *D. melanogaster*. Las microfotografías obtenidas por esta sección fueron tan aceptables como aquellas que se habían logrado en los mejores laboratorios de la época (De Garay, 1961).



Figura 5. Cromosomas gigantes de las glándulas salivales de *Drosophila melanogaster*. (Fotografía tomada del *Informe Anual de 1961*, De Garay, 1961).

Dentro de la *Sección de Enseñanza* se realizó la preparación de material, enseñanza y divulgación científica a partir de conferencias y adiestramiento del personal. Se ofreció un curso de Genética Psiquiátrica para médicos post-graduados en la Facultad de Medicina de la UNAM. Se llevó a cabo una conferencia titulada *La genética de las mutaciones inducidas por la irradiación* la cual formó parte de los cursos sobre radioisótopos que se impartieron periódicamente y que formaron parte del Programa de Educación. Asimismo fue posible la traducción y edición de dos publicaciones para cursos elementales de genética (De Garay, 1961).

Se llevó a cabo el análisis matemático de problemas de genética de poblaciones en la *Sección Estadística* y se estudiaban los factores sociales y condiciones de vida de las familias mexicanas en la *Sección de Trabajo Social*. Finalmente en este año se agradeció

el apoyo y los medios que fueron proporcionados mediante los cuales fue posible el establecimiento de una unidad de investigación genética en México. “El laboratorio ha dado los resultados previstos en este primer año de actividades. Sin embargo, nuestro trabajo de investigación está extendiéndose considerablemente, por lo que se requiere un aumento de personal, material y nuevos locales” (De Garay, 1961).

En 1962 se realizaron modificaciones dentro del Programa, y se establecieron nuevas investigaciones reorganizando las Secciones en Genética Humana, Genética de *Drosophila*, Genética de Mamíferos, Radiogenética y Bioquímica, Genética Cuantitativa, Bioestadística y Enseñanza. Durante este año de Garay y Hans Kalmus realizaron colectas de *Drosophila* spp., en los estados de Chiapas y Oaxaca con una duración de tres meses. Por otro lado, se iniciaron estudios de genética de población con base en algunos genes marcadores en los grupos Tzeltal y Tzotzil del estado de Chiapas y sobre la población mestiza de Xamiltepec, Oaxaca; más tarde, se estudiaron poblaciones lacandonas de Chiapas en las localidades de San Cristóbal, Lacanjá y Najá (Fig. 6) y el grupo otomí del Valle del Mezquital, Ixmiquilpan, estado de Hidalgo (Barahona, 2009). “Los grupos indígenas de nuestro país y particularmente los que han permanecido en aislamiento geográfico durante varias generaciones proporcionan un material de valor incalculable para la genética de poblaciones y la genética antropología” (De Garay, 1963).



Figura 6. Grupo de nativos de Lacanjá, Chiapas, México. (Fotografía tomada del *Informe Anual de 1963*, De Garay, 1963).

“El impresionante desarrollo alcanzado en los últimos años por la genética, por la bioquímica molecular y otros campos afines hace evidente la necesidad de capacitación inmediata de investigadores y hasta de técnicos de nivel sub-profesional en la integración de proyectos de investigación en las especializaciones de las ciencias mencionadas. Mediante el uso reciente de las técnicas de aplicación de radiaciones y radioisótopos en la genética se han producido avances notables en el conocimiento de la constitución fisicoquímica del material hereditario, de sus transformaciones y de la forma en que determina las actividades orgánicas. Los experimentos requieren la cooperación no sólo de los biólogos sino de investigadores especializados en otras disciplinas y de equipo a veces costoso diseñado para la resolución de problemas de extraordinaria complejidad” (De Garay, 1963).

Para los primeros meses de 1963 las actividades del Programa de Genética y Radiobiología se distribuyeron en cinco Laboratorios, Genética Humana, Genética de *Drosophila*, Genética de Ratones, Radiogenética y Radioquímica y Fotografía y tres Secciones, Administrativa, Enseñanza y Bioestadística. A fin del año de 1963 la organización quedó representada en la siguiente forma:

Laboratorio de Genética Humana comprendida por cuatro secciones. La *Sección de Genética Antropológica* que se agregó para cumplir con el programa, y donde se continuaron los estudios de genética de poblaciones en grupos indígenas con características genéticas especiales producidas en algunos casos por aislamiento geográfico. Por lo que fue necesario realizar varias expediciones a poblaciones lacandonas, grupos mixtecos y grupos otomís para realizar algunas pruebas como la de Koss y Raven para la determinación del coeficiente de inteligencia, pruebas para la identificación de individuos que tienen ceguera al color, sensibilidad al sabor de la feniltiocarbamida (prueba de PTC), estudio de las huellas digitales y palmares, determinación de la frecuencia de los genotipos según el grupo sanguíneo, determinación de genotipos por los grupos sanguíneos reacción Rh, obtención de cariotipos de los nativos a partir de células sanguíneas y de piel, estudios de la cromatina sexual en células de la sangre y de la mucosa oral, determinación de genotipos por la deficiencia de la enzima glucosa-6-fosfato deshidrogenasa en el suero sanguíneo, elaboración de *pedigrees* para la investigación de genotipos en cuanto a los factores hereditarios determinantes de las reacciones mencionadas y finalmente se realizó un trabajo de fotografía (De Garay, 1963).

En la *Sección de Cultivo de Tejidos* se realizaron cultivos de células sanguíneas y de médula ósea, con el propósito de obtener cariotipos analizables de probables portadores de enfermedades y defectos hereditarios tales como síndrome de Down, síndrome de

Turner, síndrome de Klinefelter y síndrome de Marfan (Fig. 7). Dentro de la *Sección de Citología*, se obtuvieron cariotipos de células propagadas en cultivos de sangre, de piel y de médula ósea. Se elaboró un catálogo de fotografías de cariotipos analizados para estudios comparativos, y finalmente se realizaron estudios de cromatina sexual en células sanguíneas y de mucosa oral. En la *Sección de Clínica* se diagnosticaron pacientes y se elaboraron historias clínicas para la investigación de padecimientos y defectos hereditarios. Algunos de los casos estudiados además de los ya mencionados incluyen la distrofia muscular progresiva, la miotonía congénita (enfermedad de Thomsen) y la miotonía distrófica (De Garay, 1963).



Figura 7. Cromosomas somáticos en cultivo de leucocitos. Cariotipo con diagnóstico de Síndrome de Marfan en el cromosoma 15. (Fotografía tomada del *Informe Anual de 1963*, De Garay, 1963).

Laboratorio de Genética de Mamíferos comprendía tres secciones; *Sección de Cultivo de Tejidos*, donde se cultivó tejido testicular, tejido renal y de médula ósea de ratón para estudios de cariotipos. En la *Sección de Citología* se realizaron técnicas para la observación de cromosomas en metafase de las células procedentes de cultivos. En la *Sección de Conservación de Líneas*, los animales de experimentación se mantenían en

jaulas mediante cuidadoso control de enfermedades y de otros agentes patógenos (De Garay, 1963).

El Laboratorio de Genética en *Drosophila* estaba integrado por tres secciones; *Sección de Cruzas y Cultivos*, llevando a cabo estudios de la no disyunción y su relación con la incorporación de compuestos con radioisótopos a los cromosomas; *Sección de Citología*, donde se realizaron autorradiografías de los cromosomas gigantes de *D. melanogaster* marcados con radioisótopos. Además, se realizaron cromatografías de mutantes de la mosca de la fruta que mostraban patrones metabólicos alterados, y se llevaron a cabo estudios de los cromosomas mitóticos del ajolote; *Sección de Conservación de Líneas*, en donde se continuó el cultivo de 120 líneas de mutantes de *D. melanogaster* para investigación en no disyunciones de los cromosomas, efecto genético de la radiación, mutación, metabolismo cromosómico, cromatografía y enseñanza (De Garay, 1963).

En 1963 se integró el Laboratorio de Citogenética que comprendía la *Sección de Citogenética*, realizando estudios de las aberraciones cromáticas expuestas a irradiación, índices mitóticos y metabolismo cromosómico. El Laboratorio de Radiogenética y Serología, integrado por las *Secciones de Bioquímica Metabólica*, donde se obtuvieron extractos y cromatografía de varias líneas de *D. melanogaster* que presentaban patrones metabólicos alterados. En la *Sección de Hematología* se trabajó con la deficiencia de la enzima glucosa-6-fosfato deshidrogenasa en sangre de pacientes. Finalmente, en la *Sección de Radiogenética*, se llevó a cabo el manejo, dosificación y preparación de soluciones con compuestos marcados para las técnicas autorradiográficas (De Garay, 1963).

El Laboratorio de Genética Cuantitativa estaba comprendido por la *Sección de Modelos Matemáticos*, donde se elaboraron modelos matemáticos aplicables a los efectos

de la irradiación en las células; y en la *Sección de Estadística y Población*, se trabajó con la correlación en la genética de poblaciones, correlación en los *pedigrees* según las huellas digitales, análisis de *pedigrees* de familias con bocio, estudios cuantitativos de las huellas palmares y *pedigrees* de las familias de los grupos lacandones estudiados (De Garay, 1963).

Dentro del Laboratorio de Fotografía se encontraba la *Sección de Microfotografía*, donde se llevó a cabo el revelado e impresión del material de microfotografía aportado por los laboratorios; y la *Sección de Autorradiografía*, empleó técnicas de aplicación y revelado de la película autorradiográfica, además, se trabajó en fotografía de pacientes, de nativos estudiados en las expediciones y fotografías de las huellas digitales (De Garay, 1963).

“Es de importancia particular el efecto logrado en la Universidad Autónoma de Puebla, que es la primera Universidad del país que por decisión expresa del H. Consejo Técnico y con el apoyo del señor rector Dr. Manuel Lara y Parra, incorporó la materia de Genética Médica, a partir de 1963, al programa de estudios de la Escuela de Medicina” (De Garay, 1965).

“Se ha dado particular atención a los experimentos que implican el empleo de radioisótopos y al estudio de los efectos genéticos de las radiaciones, la investigación se conduce sobre diversos aspectos de la genética molecular, de la biología humana y de la genética de poblaciones; de la genética animal y de la citogenética en material vegetal. Estamos conscientes de que en ciertos aspectos nos hemos extendido en algunos campos que podrían caer más exclusivamente en el dominio de la Medicina o de la Antropología, lo mismo ocurre, sin embargo, en otros laboratorios que pertenecen a la Comisión o al Programa de Energía Nuclear de otros países. En nuestro caso, tenemos la certidumbre

del beneficio que se deriva de la utilización del equipo y posibilidades de los que carecen otras instituciones” (De Garay, 1964).

Las investigaciones que se habían practicado en el laboratorio hasta 1964, estaban orientadas hacia el cumplimiento de las finalidades originales del Programa, las cuales incluían: la investigación del proceso hereditario desde el nivel molecular hasta la genética de poblaciones, la investigación de los efectos genéticos de las radiaciones, la aplicación de la técnica genética a la medicina y a diversos campos de la biología para el mejoramiento de las condiciones de vida y finalmente el adiestramiento técnico, enseñanza y divulgación científica (De Garay, 1964).

La investigación del Programa de Genética estaba condicionada por la experiencia gradual adquirida en el trabajo y que fue representando una guía básica para incrementar aquellos proyectos que se destacaron como los más importantes para el avance de los laboratorios. Esto no significó que el Programa se fuera desarrollando casuísticamente, sino que se fue adaptando a las posibilidades que ofrecían los avances científicos de aquellos años, los cuales determinaban las líneas básicas a seguir. En ese momento, la investigación era conducida sistemáticamente aunque no al mismo nivel sobre las Secciones de Citogenética, Bioquímica Genética, Genética Molecular, Genética Cuantitativa, Genética de Poblaciones, Genética Clínica y Genética Antropológica. La mayoría de estas especialidades implicaban convergencias de las líneas de investigación en genética humana, genética animal y genética vegetal; la presente organización constituía una etapa en la evolución del programa que requería mayor incremento en algunos de sus aspectos, que estaban previstos para los próximos años (De Garay, 1964).

La investigación genética en 1964 prosiguió su desarrollo dentro de la organización que comprendía a siete laboratorios subdivididos en Secciones, los cuales eran: I) Laboratorio de Citogenética Humana, II) Laboratorio de Genética de Mamíferos, Genética Animal y Radiobiología Animal, III) Laboratorio de Citogenética y Radiogenética Vegetal, IV) Laboratorio de Genética de *Drosophila*, V) Laboratorio de Bioquímica, Radiogenética y Serología, VI) Laboratorio de Genética Cuantitativa y Genética de Población y VII) Laboratorio de Fotografía y Microfotografía.

En 1964 se realizaron estudios sobre la sensibilidad al CO₂ en las poblaciones silvestres de *Drosophila* spp., y se desarrolló la investigación denominada “Distribución de la sensibilidad de *Drosophila* al CO₂”. Kalmus, de Garay y colaboradores, publicaron en *Human Biology* el resultado de sus estudios con los grupos de niños de 8 a 18 años de edad, de Chiapas y Oaxaca, así como del Distrito Federal, en el artículo titulado *The frequency of PTC tasting, hard ear wax, color blindness and other genetical characters in urban and rural Mexican populations*. Los autores concluyeron que, si se asume que en la población nativa, la presencia de los genes responsables para la ceguera al color y para PTC es menor en comparación con la población española y que la selección no intervino mayormente, entonces se pueden calcular las poblaciones de los dos elementos genéticos étnicos que fueron introducidos en México hace 300 años (Barahona, 2009).

“A cuatro años, de distancia de que el Programa entró en su etapa experimental al fundarse el Laboratorio, se alcanzó el dominio de la técnica indispensable para el trabajo de investigación en este campo y se logró situar al Laboratorio en la posición de un Centro de Investigación en aptitud no sólo para continuar la investigación teórica, sino para extender sus posibilidades de aplicación en el campo de la Medicina, de la Agricultura y de la Biología Humana” (De Garay, 1964).

4.2 El Programa de Genética 1965-1973

“Las actividades en la investigación fueron particularmente estimuladas por la visita de hombres de ciencia que en calidad de expertos, o como visitantes ocasionales examinaron y discutieron con los investigadores los diseños experimentales, aportando valiosas contribuciones a los trabajos de investigación en progreso. También se obtuvo ayuda constante del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), que proporcionó el apoyo económico necesario para el sostenimiento de algunas de las becas y para la visita de los doctores H. Kalmus y W. Gottschalk.” (De Garay, 1965).

Durante los cinco primeros años de existencia del laboratorio, la disposición de las autoridades y la del señor José Gorostiza, Presidente de la CNEN, asignaron al Programa de Genética y Radiobiología partidas presupuestarias importantes que favorecieron la capacitación y entrenamiento del personal profesional nacional y extranjero en los laboratorios del programa en universidades y laboratorios de Estados Unidos y Europa (De Garay, 1966), culminando con la instalación del laboratorio en un edificio ubicado en Avenida Revolución N° 1608. Este hecho resolvió el problema de aglomeración que tenían los locales que con anterioridad ocupaba el laboratorio en la calle de Plateros (De Garay, 1965). Durante este periodo el Programa tuvo un crecimiento tanto en las líneas de investigación como en infraestructura, así como el desarrollo de proyectos con el Dr. J. Bowman de la Universidad de Chicago y la creación de la SMG (De Garay, 1966).

Los trabajos realizados durante este año en el Programa de Genética y Radiobiología fueron la continuación de las investigaciones iniciadas en años anteriores. Dentro del Laboratorio de Genética Humana en la *Sección de Citogenética* se realizaron, 1) técnicas de cultivo de tejidos para la obtención de cromosomas humanos, donde se logró

un progreso considerable en el perfeccionamiento de las técnicas de cultivo en leucocitos de sangre hasta la obtención de preparaciones de cromosomas, y se obtuvieron cariotipos con el fin de interpretar las aberraciones cromosómicas que están asociadas a diversas condiciones clínicas; 2) aberraciones cromosómicas inducidas por irradiación y la continuación del estudio genético del único sobreviviente del accidente de irradiación con Cobalto 60 (Fig. 8). “Mediante cámara lúcida y proyector de negativos se estudiaron las metafases obtenidas en cultivos de leucocitos del paciente y se construyeron los cariotipos de todas las células útiles para análisis mediante observación microscópica”. Dentro de la *Sección de Genética Clínica* se estudió 1) herencia de la fenilcetonuria, donde se aplicaron las técnicas para el diagnóstico prematuro de esta deficiencia mental hereditaria, empleándose métodos de cromatografía para su detección en el suero sanguíneo; 2) estudio familiar y clínico de diversas enfermedades hereditarias, realizándose el estudio clínico y cromosómico de varios pacientes con síndrome de Marfan, un caso de pseudohermafroditismo, algunos casos de síndrome de Down, esquizofrenia y de otros paciente con probables enfermedades cromosómicas (De Garay, 1965).

En el Laboratorio de Genética de Mamíferos, Genética Animal y Radiobiología Animal, dentro de la *Sección de Cultivo de Tejidos*, se perfeccionó el trabajo técnico practicándose pruebas de concentración del medio en 24 cultivos de fibroblastos obtenidos de biopsia de pulmón y de riñón del ratón *Mus musculus*. Se mejoró la técnica directa *in vitro* para obtener cromosomas en tejidos procedentes de bazo y testículo. Se continuó el trabajo en técnicas autorradiográficas para el marcaje de cromosomas (De Garay, 1965).



Figura 8. Metafase en una célula procedente del único sobreviviente de una familia que estuvo expuesta a radiación gama durante tiempo prolongado. Se señala una ruptura en uno de los brazos del cromosoma. (Fotografía tomada del Informe Anual de 1964, De Garay, 1964).

En el Laboratorio de Citogenética y Radiogenética Vegetal, se trabajó con 1) alteraciones inducidas por los rayos X en los cromosomas de las células meristemáticas de la raíz de *Vicia faba*. III (Fig. 9). Influencia de la temperatura en la frecuencia de las aberraciones cromosómicas; 2) se observó el efecto de la serotonina en la inducción de aberraciones cromosómicas y en la inhibición del crecimiento por medio de rayos X; 3) se analizó la correlación entre el volumen nuclear, el volumen nucleolar; el complemento cromosómico y la radiosensibilidad. Se determinaron los volúmenes nucleares y nucleolares de tres especies de trigo (*Triticum monococcum*, *T. durum* y *T. vulgaris*), y sus semillas fueron irradiadas con rayos gamma producidos por una fuente de Cobalto 60; 4) se observó la acción de las radiaciones sobre células vegetales; 5) se estudiaron los efectos letales producidos por los rayos gamma en *Vicia faba* y el comportamiento de las

aberraciones cromosómicas; 6) se realizaron estudios citológicos del meristemo terminal de la raíz del maíz (*Zea mays*) en cultivo de tejidos; 7) se analizaron los resultados de análisis citológicos y bioquímicos de la formación de tumores en alfalfa, tomate, frijol y chicharos producidos por *Agrobacterium tumefaciens*. “La inoculación de las bacterias y la obtención de tumores no se efectuaron por falta de un local apropiado (invernadero), para el cultivo de las plantas en estudio” (De Garay, 1965).



Figura 9. Aberraciones inducidas por tratamiento con rayos X en el cromosoma de *Vicia faba*. Las flechas muestran un cromosoma dicéntrico y 2 pares fragmentados. (Fotografía tomada del *Informe Anual de 1966*, De Garay, 1966).

Dentro del laboratorio de Genética de *Drosophila* en la *Sección de Cruzas y Cultivos* se estudió 1) la relación entre las frecuencias de no disyunciones e intercambio cromático de diversos rangos en hembras excepcionales de *D. melanogaster* recobradas después de irradiación, para lo que fue necesaria la construcción de líneas que permitieran clasificar a

la progenie excepcional procedente de la no disyunción en la línea paterna o materna; 2) se observaron las frecuencias de no disyunciones en *D. melanogaster*; 3) se analizó la influencia de la actinomicina-D en el proceso de no disyunción en hembras de la mosca de la fruta. En la *Sección de Citología* 1) se aplicaron las técnicas autorradiográficas al estudio del metabolismo en los cromosomas gigantes de *D. melanogaster*. Se realizó la incorporación de compuestos precursores de ARN y de ADN, marcados con elementos radioactivos y su detección por autorradiografía permitió el estudio del efecto de la actinomicina-D en las síntesis de ADN y ARN, en los cromosomas de las glándulas salivales de *D. melanogaster*, Se ensayaron técnicas para la inyección de larvas y se progresó en las técnicas adaptadas para autorradiografía posterior (De Garay, 1965).

En el Laboratorio de Radiobiología de Invertebrados Acuáticos, se iniciaron estudios de ADN en los cloroplastos del alga *Spirogyra* spp. Se realizaron experimentos para el estudio del efecto radioprotector de la serotonina en planarias y se determinó la radiosensibilidad en estos platelmintos. Se realizaron estudios sobre los efectos de las radiaciones a nivel cromosómico y molecular, así como el establecimiento de las técnicas necesarias para el marcaje de cromosomas con fines de autorradiografía (De Garay, 1965).

Dentro del Laboratorio de Bioquímica, Radiogenética y Serología se realizaron 1) estudios comparativos del metabolismo del triptófano en niños con trisomía 21 y en niños con cariotipos sin aberraciones; 2) estudios de una nueva hemoglobina y determinación de sus características moleculares (De Garay, 1965).

En el Laboratorio de Genética Cuantitativa y Genética de Población, se terminó el procesamiento de datos reunidos en las expediciones a la zona lacandona sobre tipos sanguíneos, sensibilidad a la feniltiocarbamida, ceguera a los colores, cromatina sexual y

se concluyó la construcción de genealogías de todos los nativos que se estudiaron. En colaboración con la *Sección de Genética Clínica* se trabajó en la colección de datos y genealogías de algunos de los pacientes con enfermedades hereditarias como síndrome de Marfan. Se finalizó la investigación sobre huellas palmares y digitales de los lacandones de Lancanjá, Najá y Monte Líbano (De Garay, 1965).

En el Laboratorio de Cinemicroscopía y Microfotografía se estudiaron 1) las técnicas de microfotografías aplicadas en la investigación citogenética y al cultivo de tejidos humanos, animales y vegetales; 2) las técnicas de autorradiografía aplicadas a la investigación del metabolismo cromosómico; 3) se realizaron películas documentales de las expediciones para estudio de la genética antropológica en las poblaciones autóctonas de México; 4) se tomaron y procesaron las fotografías tomadas a los nativos durante 1965, para la elaboración de genealogías y las investigaciones de genética antropológica y biología humana en la población lacandona (De Garay, 1965).

El Dr. Manuel Sandoval Vallarta aprobó la visita del Dr. O. P. Kamra de Dalhousie University Canadá, del Dr. K. R. Dronamraju de The State University of New York y del Dr. Louis Levine de The Biology Department, The City College of New York, para colaborar en el laboratorio y que fuera sufragada con un fondo de la CNEN. El Dr. Louis Levine durante su visita, hizo algunas sugerencias para un mayor impulso de la genética en México. Primero que se ampliara la estancia en las universidades por períodos de 3 a 5 años, con la finalidad de hacer estudios doctorales; segundo, incluir dentro del Programa tres campos de investigación cuyas contribuciones a la genética eran considerables: genética molecular, genética del desarrollo y genética del comportamiento y, tercero, sugirió la formación de la SMG como un organismo representativo oficial de los genetistas de México y la publicación de una revista científica periódica. Al finalizar este año, el Laboratorio alcanzó el desarrollo

necesario para realizar investigaciones genéticas en forma simultánea y constante en los distintos campos señalados, siendo posible prever para los próximos cinco años las investigaciones sobre diseños experimentales para contribuir a la investigación internacional en genética (De Garay, 1965)

Los investigadores del Programa de Genética y Radiobiología participaron en la enseñanza de la genética, la bioquímica y la radiobiología, impartiendo materias de estas ramas en diversas instituciones y en el propio Laboratorio. La atención se concentró en los aspectos teóricos y en el trabajo experimental que no se consideraba como una parte complementaria sino como un aspecto fundamental en la integración de la enseñanza científica. Las instituciones en donde tuvieron lugar las actividades docentes fueron de nivel superior. Por ejemplo, en la UNAM, dentro de la Facultad de Ciencias, la Facultad de Medicina y en la antigua Facultad de Ciencias Químicas. También en la Escuela Nacional de Antropología e Historia, en la antigua Escuela Nacional de Agricultura -hoy Universidad Autónoma Chapingo-, en la UAP, en la Universidad Iberoamericana, en la Secretaría de Salubridad y Asistencia se impartió el curso de genética para médicos de salud mental y finalmente, dentro de la CNEN en el Programa de Genética y Radiobiología se impartió el curso de especialización en medicina nuclear.

El Programa de Genética y Radiobiología de la CNEN constituyó durante este periodo un centro de investigación en pleno desarrollo, condicionado según las finalidades con que fue formado y por la experiencia que el personal adquirió progresivamente en el propio laboratorio y en instituciones del extranjero. Al diversificarse las líneas de investigación se eligieron para su desarrollo aquellas directrices de la genética que permitieran abordar problemas fundamentales. Durante 1966 las investigaciones estaban enfocadas en: I) citogenética, II) bioquímica genética, III) genética molecular, IV) genética

cuantitativa, V) biología humana (genética antropológica), VI) genética de poblaciones, VII) genética médica y VIII) radiogenética (De Garay, 1966).

Dentro del Laboratorio de Genética Humana se estudiaron los cromosomas de pacientes con enfermedades hereditarias, los problemas relacionados con dichas enfermedades, así como el diagnóstico, pronóstico, tratamiento y prevención de las mismas. Por otro lado, se obtuvieron cromosomas a partir de cultivos de leucocitos y se continuó con la investigación sobre la biología humana en la población lacandona. Asimismo, se realizaron investigaciones sobre la evolución y estructura de las poblaciones indígenas, la influencia del mestizaje y los cambios que ocurrían progresivamente en las poblaciones en general.

Gracias a las autoridades de la CNEN, en cooperación con el Instituto Nacional Indigenista y el Instituto Lingüístico de Verano, quienes facilitaron sus instalaciones, permitieron la ejecución de los proyectos de trabajo en lugares más apartados. Se realizaron cuatro expediciones a la zona lacandona de Chiapas, reuniéndose los datos genéticos necesarios para completar la investigación sobre biología humana y concluyéndose el estudio genealógico de las familias lacandonas, complementando la investigación sobre la ceguera a los colores, dermatoglifos (impresiones digitales y palmares) y sensibilidad hereditaria al sabor de la feniltiocarbamida (De Garay, 1966).

La relación que de Garay tuvo con investigadores de la Universidad de Chicago cuyas líneas de investigación eran muy recientes para la época, ayudaron a la evaluación de la variabilidad en poblaciones humanas utilizando la técnica de electroforesis. La asociación que tuvo de Garay con el grupo de Chicago fue fundamental para consolidar los

estudios que en 1962 y 1963 se habían hecho en las poblaciones indígenas mexicanas (Barahona, 2009).

Por otro lado, se realizaron estudios sobre los grupos sanguíneos en el experimento llamado *Estudios Familiares y de Población en Estados Unidos y en México, de las Variantes Electroforéticas de la enzima 6-fosfogluconato deshidrogenasa*, llevado a cabo por los Doctores James Bowman del Departamento de Medicina de la Universidad de Chicago, Paul E. Carson de la Clínica Genética de la Universidad de Chicago, Henry Frischer del Departamento de Medicina y Patología, de la Universidad de Chicago y de Garay, comparando la presencia de la enzima 6-fosfogluconato deshidrogenasa (6-PDG) de los eritrocitos humanos en poblaciones afroamericanas y grupos lacandones chiapanecos (Barahona, 2009; De Garay, 1966). El trabajo fue publicado en la revista *Nature* con el título “*Genetics of starch-gel electrophoretic variants of human 6-phosphogluconic dehydrogenase: population and family studies in the United States and in Mexico*” (Bowman *et al.*, 1966).

La estancia del Dr. Gregorio Olivieri, del Instituto de Genética de la Universidad de Roma, proporcionó asistencia técnica dentro del Laboratorio de Genética de *Drosophila*, dirigiendo varios experimentos sobre sensibilidad de los diferentes estados de la gametogénesis y la inducción de cambios genéticos por irradiación con rayos X. Se continuaron los estudios de genética molecular y de poblaciones con varios proyectos y experimentos, como la aplicación de técnicas de radioisótopos (autorradiografía), así como el uso de radiaciones ionizantes y la investigación de los procesos de no disyunción a través del uso de marcadores genéticos (De Garay, 1966).

En 1967 el Comité Organizador de los juegos de la XIX Olimpiada, en cooperación con la CNEN, creó el Programa de Genética y Biología Humana para la investigación genética y antropológica en los atletas. Los juegos olímpicos ofrecieron la oportunidad para el estudio de la biología de los atletas y en particular de sus características genéticas y antropológicas. Las finalidades del Programa fueron: "I) la investigación de la estructura biológica y el efecto de la interacción del componente genético con los factores ambientales determinantes de la morfología, la fisiología y el comportamiento biológico que condicionan a la amplitud y rendimiento extremos del atleta olímpico; II) la aplicación de estas investigaciones a la biología humana en general y en forma colateral para la orientación de las técnicas aplicables a la educación física, a la higiene y a la conservación de la salud humana y III) las posibles aplicaciones de estos conocimientos a la selección individual durante la infancia o durante la juventud, en la práctica de las especialidades deportivas más adecuadas para cada individuo" (De Garay, 1967).

Como parte del desarrollo de la investigación, se celebró en la ciudad de México el *Primer Seminario Internacional para el Estudio de los Atletas Olímpicos*, que tuvo lugar del 17 al 21 de junio de 1967. En el seminario participaron los Doctores Alfonso L. de Garay, Louis Levine, Douglas R. Bainbridge, Johanna Faulhaber, Rodolfo Félix Estrada, Santiago Genovés, Bárbara H. Heath, Felipe Montemayor, Alejo E. Romero, Virginia Tiburcio y los profesores Venerando Correnti, Eusebio Dávalos Hurtado, Sipke J. Geerts, Hans Kalmus, Ching Chun Li, Eugene Schreider y Curt Stern. De este seminario se reunieron las conclusiones y recomendaciones que incluyen los puntos de vista de los genetistas, antropólogos, bioquímicos y médicos que participaron en la discusión (De Garay, 1967).

La Unidad de Investigación y Muestreo fue instalada en un local adjunto al del Programa de Genética y Radiobiología, según las necesidades necesarias, equipo,

muebles y personal que fue aprobado gracias al apoyo otorgado por la Autoridades del Comité Organizador de los Juegos de la XIX Olimpiada. El muestreo genético y antropológico de 196 atletas procedentes de 31 delegaciones y clasificados según su especialidad deportiva, se realizó durante la Tercera Competencia Deportiva Internacional que tuvo lugar del 14 al 29 de octubre de 1967. El trabajo estuvo supervisado por George Karp, y los Doctores Lindsay Carter, Louis Levine y Bárbara Honeyman Heath (De Garay, 1967).

En 1968 el Programa de Genética y Biología Humana fue creado mediante un arreglo entre el Arquitecto Pedro Ramírez Vázquez, Presidente del Comité Organizador de los Juegos de la XIX Olimpiada y el señor José Gorostiza, Presidente de la CNEN a partir de su Programa de Genética y Radiobiología. Tenía como objetivo el desarrollo de un proyecto de investigación sobre los componentes genéticos y somáticos. Se examinaron a 1,265 atletas procedentes de 92 países y a los 425 individuos que constituyeron el grupo testigo. El estudio de la genética de los atletas comprendía los siguientes aspectos: identificaciones y estudios familiares, investigaciones de huellas digitales y palmares (dermatoglifos), investigaciones citológicas, estudio de genes simples y aplicación de métodos matemáticos diseñados para la evaluación de las estimaciones y de los valores obtenidos a partir de las poblaciones examinadas. El material obtenido, tanto del muestreo de los atletas olímpicos como del grupo testigo, fue publicado en los primeros meses del año de 1969 con el título *Genetical and Anthropological Studies of 1265 Athletes of the XIX Olympic Games, Mexico City. 1968*, este proyecto fue desarrollado en forma de un contrato de investigación financiado por el Comité Organizador de los Juegos de la XIX Olimpiada y representó un esfuerzo a favor del desarrollo de la ciencia en México que propiciaría investigaciones futuras (De Garay, 1968).

En 1970 los trabajos con *Drosophila hydei*, *D. eohydei* y *D. neohydei* se continuaron con la irradiación de éstas tres especies con electrones acelerados para calcular la dosis letal media. Por otro lado se realizaron estudios sobre la sensibilidad al CO₂ en poblaciones de *Drosophila* spp., en la ciudad de México (De Garay, 1968).

4.3 El Programa de Genética 1973-Época actual

Durante esta tercera época, el Programa de Genética y Radiobiología se convierte en Departamento de Radiobiología comprendido en el Programa Biomédico Nuclear dependiente del INEN, que se convertiría en 1979 en el ININ, con nuevas instalaciones en el Centro Nuclear “Nabor Carrillo” en Salazar, Estado de México; “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” (Bulbulian & Rivero Espejel, 2012). Al mudarse a Salazar, el Programa conservó los Laboratorios de Genética Vegetal, Genética Microbiana, Genética de *Drosophila* y Genética Humana (Barahona, 2009; De Garay, 1970-1976).

Para 1974, gran parte del personal científico original del entonces Departamento de Genética y Radiobiología había migrado y formado grupos en otras instituciones. El papel que jugó el Programa de Genética y Radiobiología fue esencial en la formación de investigadores, con lo cual se superaron las expectativas iniciales. Actualmente hay laboratorios con grupos de investigación en varios estados y en múltiples instituciones a lo largo del país, que fueron fundados por investigadores de la CNEN o por descendientes académicos de éstos. El esfuerzo de León de Garay, su equipo y la consolidación e institucionalización de la genética en México terminó por hacer que el país estuviese a la

vanguardia en materia de radiobiología y genética. De acuerdo con Barahona (2006), se fundaron más de 26 laboratorios dedicados a la investigación sobre genética en México, Baja California, Coahuila, Hidalgo, Chiapas, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Tabasco, Tlaxcala, Veracruz y Yucatán.

Al constituirse el INEN se otorga mayor énfasis a los efectos genéticos de las radiaciones. Las actividades efectuadas durante este periodo eran: I) efecto biológico de las radiaciones y genética ecológica, II) investigación para el empleo de las radiaciones en el mejoramiento de las condiciones de vida y la conservación de la salud, III) uso de los radioisótopos y las radiaciones en la investigación biológica, IV) participación en proyectos de investigación genética a nivel nacional e internacional, y V) asesoramiento, enseñanza, adiestramiento y divulgación científica (De Garay, 1970-1976).

A partir de julio de 1974 se inició un proyecto de investigación internacional de la genética y la evolución en poblaciones mexicanas de *Drosophila pseudoobscura*, patrocinado por el INEN, la National Science Foundation de los Estados Unidos y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT). Este proyecto de colaboración entre los investigadores nacionales y los extranjeros: del INEN el Dr. Rodolfo Félix Estrada, las M. en C. Olga Olvera R., Judith Guzmán R. y Ma. Esther de la Rosa D., de la Universidad de Nueva York el Dr. Louis Levine, de la Universidad de Yale el Dr. Jeffrey Powell y de la Universidad de California el Dr. Theodosius Dobzhansky. A la muerte de este último ocurrida en diciembre de 1975, se incorpora al proyecto el Dr. Wyatt Anderson de la Universidad de Georgia. Además de los investigadores extranjeros y de los del INEN colaboró en el proyecto el Dr. Víctor Manuel Salceda de la Universidad Autónoma de Chapingo. El objetivo de este proyecto fue analizar si existía un efecto del medio ambiente en los polimorfismos cromosómicos de las poblaciones naturales de *D. pseudoobscura*;

aportando datos que permitieron entender el efecto de los factores ambientales como las radiaciones. Este proyecto marcó el establecimiento y la consolidación de la genética de poblaciones en el Programa de Genética y Radiobiología (Barahona, 2009; De Garay, 1970-1976). Actualmente los estudios en *Drosophila* spp. están siendo orientados en dos líneas, por un lado el análisis de la genética de poblaciones naturales y por otro el estudio de la capacidad antimutagénica de la clorofilina, usando células somáticas y germinales (ININ, 2008).

A raíz del gran interés generado por la Genética Molecular y en especial por el proyecto del genoma humano y sus perspectivas, el Dr. de Garay fundó el Laboratorio de Genética Molecular, que aunque no tuvo un desarrollo continuo, constituye la base de lo que deberá ser la investigación en genética y radiobiología en el ININ en los siguientes años (ININ, 2008).

II. CONCLUSIONES

A partir de la segunda década del siglo XX, las aplicaciones de la energía nuclear han sido pieza fundamental del patrimonio científico y tecnológico de México. Los registros del uso de radioisótopos y radiaciones en el país en esa época, permiten entender y explicar las tareas de investigación en energía nuclear, las cuales se inician de manera formal hasta la década de 1950; un proceso que culmina con la creación de la CNEN. La radiobiología se originó a principios del siglo XX con el descubrimiento de las radiaciones ionizantes y la invención de equipos especializados para producirlas, lo que posibilitó gradualmente la solución de un conjunto de problemas biológicos a distintos niveles de organización. Durante esta época se hizo evidente la necesidad de ampliar el conocimiento de los procesos biológicos para poder interpretar los efectos de las radiaciones.

La creación del Programa de Genética y Radiobiología surge por la preocupación de conocer las consecuencias que pudiera tener la exposición de los organismos a la radiación. Las actividades relacionadas con la genética y la radiobiología se enfocaron en líneas de investigación institucional sobre las consecuencias a exposiciones radiactivas y la respuesta genética que éstas tienen a nivel poblacional, celular y molecular y los daños causados en el ADN. Estas líneas comenzaron a estudiarse en diferentes modelos biológicos como bacterias (*Escherichia coli*), insectos (*Drosophila spp.*), mamíferos (*Mus musculus*) y células humanas.

La creación del primer laboratorio de genética en México, el cual estuvo a cargo de la CNEN, se desarrolla en un contexto histórico y social durante el periodo comprendido entre 1960 a 1973. Las investigaciones llevadas a cabo dentro de la CNEN jugaron un papel fundamental en la comunidad científica del país, aportando la información, el conocimiento,

las técnicas y materiales a partir de las redes de colaboración con países como Estados Unidos, Inglaterra, Canadá e Italia y aquellos científicos con los que colaboraban como Lionel S. Penrose, Hans Kalmus, Louis Levine, Theodosius Dobzhansky, Krishna Dromanrajú, O. P. Kamra, Gregorio Oliveri, entre otros. De este modo, la ciencia y la tecnología son esenciales en la sociedad pues aportan la información y el conocimiento gracias a estas redes de colaboración que existen tanto a nivel local como global.

Desde la creación del ININ, la misión ha sido realizar investigación en ciencia y tecnología nucleares, promover sus usos pacíficos y difundir los avances logrados, buscando siempre vincularlos al desarrollo económico, social, científico y tecnológico del país. Sin embargo, a lo largo de los años de vida de estas instituciones, no ha existido una sólida tradición editorial que mantenga y conserve una memoria de su evolución y sus experiencias, lo cual ha provocado que diversos hechos importantes se vayan olvidando y desvaneciendo (ININ, 2010).

III. REFERENCIAS

1. Barahona, A. (2006). Historia de la genética en México. *Investigación y Ciencia*. Scientific American. 22 – 28; 359.
2. Barahona, A. (2009). *Historia de genética humana en México 1870-1970*. México D.F.: Las prensas de ciencias, 196.
3. Bowman, J. E., Carson, P. E., Frischer, H. & de Garay, A. L. 1966. *Genetics of starch-gel eletrophoretic variants of human 6-phosphogluconic dehydrogenase population and family studies in the United States and in Mexico*. *Nature*. 5038:811-813.
4. Bulbulian, S., & Rivero Espejel, I. (2012). Historia de la investigación de la radioactividad en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. *Sociedad Quimica de Mexico*, 15-26.
5. Comisión Nacional de Energía Nuclear (1970). Desarrollo Nacional – Política, científica y tecnológica Educación Superior, México, 2-79
6. De Garay A. L. 1960 *Programa de Genética y Radiobiología. Informe de labores 1960*. Comisión Nacional de Energía Nuclear. Archivo de Información. Biblioteca del ININ, México
7. De Garay A. L. 1961 *Programa de Genética y Radiobiología. Informe de labores 1961*. Comisión Nacional de Energía Nuclear. Archivo de Información. Biblioteca del ININ, México.
8. De Garay A. L. 1963 *Programa de Genética y Radiobiología. Informe de labores 1963*. Comisión Nacional de Energía Nuclear. Archivo de Información. Biblioteca del ININ, México.

9. De Garay A. L. 1964 *Programa de Genética y Radiobiología. Informe de labores 1964*. Comisión Nacional de Energía Nuclear. Archivo de Información. Biblioteca del ININ, México.
10. De Garay A. L. 1965 *Programa de Genética y Radiobiología. Informe de labores 1965*. Comisión Nacional de Energía Nuclear. Archivo de Información. Biblioteca del ININ, México.
11. De Garay A. L. 1966 *Programa de Genética y Radiobiología. Informe de labores 1966*. Comisión Nacional de Energía Nuclear. Archivo de Información. Biblioteca del ININ, México.
12. De Garay A. L. 1967 *Programa de Genética y Radiobiología. Informe de labores 1967*. Comisión Nacional de Energía Nuclear. Archivo de Información. Biblioteca del ININ, México.
13. De Garay A. L. 1968 *Programa de Genética y Radiobiología. Informe de labores 1968*. Comisión Nacional de Energía Nuclear. Archivo de Información. Biblioteca del ININ, México.
14. De Garay A. L. 1970-1976 *Programa de Genética y Radiobiología. Informe de labores 1970-1976*. Comisión Nacional de Energía Nuclear. Archivo de Información. Biblioteca del ININ, México.
15. Diario Oficial de la Federación (1955). Órgano del gobierno constitucional de los Estados Unidos Mexicanos. Sección Primera, Decreto, *Ley que crea la Comisión Nacional de Energía Nuclear*, 31 de diciembre de 1955. México
16. Domínguez Martínez, R. (2012). Los orígenes de la física nuclear en México. *Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 95-112.
17. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (1996). 40 años de usos pacíficos de la energía nuclear en México. *Folleto Histórico*, 3-56.

18. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (2008). *Actividad Científica y Tecnológica en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares*. México, 428.
19. Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (2010). *Contribuciones del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares al avance de la Ciencia y la Tecnología en México*.
20. http://www.atmosfera.unam.mx/editorial/rica/acervo/vol_21_1/sup_1/1.pdf
Consultado el 29 de marzo de 2014
21. <http://www.inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/LA%20COMISION.pdf>
Consultado el 7 de noviembre de 2013
22. <http://www.inin.gob.mx/plantillas/acercadeinin.cfm?clave=2> Consultado el 10 de noviembre de 2013
23. <http://www.inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/PRESENTACION%20N1.pdf> Consultado el 15 de enero de 2014.
24. <http://www.juridicas.unam.mx/publica/librev/rev/jurid/cont/12/pr/pr28.pdf> Consultado el 28 de enero de 2014
25. <http://www.inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/ANTECEDENTES.pdf>
Consultado el 29 de Enero de 2014
26. <http://www.un.org/es/aboutun/history/achieve.shtml> Consultado el 30 de Enero de 2014
27. <http://www.inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/EL%20CENTRO%20NUCLEAR.pdf> Consultado el 15 de marzo de 2014
28. [http://www.inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/Contacto_30_IN_MEMORIA M.pdf](http://www.inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/Contacto_30_IN_MEMORIA_M.pdf) Consultado el 29 de marzo de 2014).