



---

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**EL PAPEL DEL INGENIERO QUÍMICO EN LA PROHIBICIÓN DE LAS ARMAS  
NUCLEARES EN EL MUNDO.**

*Trabajo Monográfico de Actualización*

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE**

**INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTA**

**RODRIGO GONZÁLEZ CÁRDENAS**



**MÉXICO, D.F.**

**AÑO 2015**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

## **JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE:** Profesor: BENJAMIN RUIZ LOYOLA

**VOCAL:** Profesor: ALEJANDRO LEON IÑIGUEZ HERNANDEZ

**SECRETARIO:** Profesor: PLINIO JESUS SOSA FERNANDEZ

**1er. SUPLENTE:** Profesor: ALFONSO MIERES HERMOSILLO

**2° SUPLENTE:** Profesor: MARIA KENIA ZAMORA ROSETE

## **SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

**CIUDAD UNIVERSITARIA, FACULTAD DE QUÍMICA.**

## **ASESOR DEL TEMA:**

**BENJAMÍN RUÍZ LOYOLA**

## **SUSTENTANTE (S):**

**RODRIGO GONZÁLEZ CARDENAS**

# Índice

<b>Introducción</b>	4
<b>Capítulo 1</b>	
Cambios de energía en reacciones nucleares	11
Fusión Nuclear	13
Fisión Nuclear	15
Efectos de una explosión nuclear	17
Calor	18
Presión	19
Radiación	21
Efectos biológicos de la radiación	22
Dosis de radiación	24
Pulso Electromagnético	25
Lluvia radiactiva	26
Incendios extendidos	28
<b>Capítulo 2</b>	
Antecedentes de los tratados de prohibición del uso y producción de armas nucleares	30
CTBT (Comprehensive Test-Ban Treaty) en la actualidad.	34
Ensayos Nucleares	36
Efectos de Ensayos Nucleares	39
<b>Capítulo 3</b>	
Estructura del CTBTO	47
Vigilancia Sismológica	49
Vigilancia Infrasónica	50
Vigilancia Hidroacústica	51
Vigilancia de Radionúclidos	52
¿Cómo coopera México con el CTBTO?	54
<b>Análisis y conclusiones</b>	61
<b>Anexo 1</b>	65
<b>Anexo 2</b>	68
<b>Bibliografía</b>	78

## Introducción

Un lunes en la madrugada, a las 2:45 am, el Coronel Paul Tibbets y su tripulación de doce abordaron su B-52, *el Enola Gay* y despegaron de la base militar en Tinian con dirección  $34^{\circ}23'07''\text{N } 132^{\circ}27'19''\text{E}$ . Cinco horas y media después, exactamente a las 8:15 am dejaron caer su carga "Little Boy" sobre la ciudad que, nueve kilómetros abajo, apenas despertaba. Era el 6 de Agosto de 1945, Hiroshima Japón. Cuarenta y tres segundos después, la ciudad estaba en ruinas, cerca de 90,000 personas habían muerto instantáneamente, 100,000 más resultaron heridas, el hombre había cruzado un umbral inimaginable del que ya no habría retorno. Mientras se alejaban, viendo el hongo de destrucción que dejaban atrás, el copiloto Robert Lewis alcanzó a decir: "Dios mío que hemos hecho". La era nuclear había llegado.

A casi setenta años de las bombas de Hiroshima y Nagasaki, en el mundo se estima que existen más de 16,500 ojivas nucleares con el potencial destructivo para terminar con la vida en la tierra más de cien veces. Al menos nueve países cuentan con arsenal nuclear y varios más cuentan con programas nucleares clandestinos con el objetivo de conseguirlo. ¿Cómo llegamos aquí? Y lo más importante, ¿Qué se puede hacer para revertir esta situación? El objetivo de este trabajo es hacer un recuento histórico por desarrollo de la química y el armamento nuclear pero, sobre todo, establecer los parámetros de posibilidad del ingeniero químico en la prohibición y el desmantelamiento de armas nucleares.

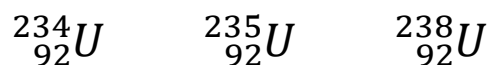
La historia de la radioactividad comenzó hace poco más de un siglo, en 1896, cuando el físico francés Antoine Henri Becquerel la descubriera en sus estudios sobre la fluorescencia en los compuestos de uranio, nunca podría haber imaginado los alcances que su trabajo tendría.

Casi inmediatamente después del descubrimiento de la radioactividad, los físicos polacos Marie Sklodowska Curie y Pierre Curie comenzaron estudios más detallados del nuevo fenómeno. Guiados por sus observaciones descubrieron que algunos minerales de uranio naturales poseían una radioactividad mayor a la que correspondía normalmente al uranio en forma natural. Lograron separar de manera química estos minerales y dada la intensidad de la radiación los llevo a descubrir nuevas sustancias radioactivas. El resultado fue el descubrimiento, en junio de 1898, de un nuevo elemento radioactivo: el polonio. Fue nombrado así en honor al país de origen de Marie

Curie. Unos meses más tarde, en diciembre del mismo año, los Curie reportaron el descubrimiento de otro elemento radioactivo y lo llamaron Radio<sup>1</sup>.

Sin embargo, fue el descubrimiento del núcleo atómico<sup>2</sup> en 1911 lo que abrió un nuevo capítulo en el entendimiento de la química nuclear. En este sentido, las partículas subatómicas que residen en el núcleo son dos: el protón y el neutrón; éstas se le conocen como *nucleones*. Todos los átomos de un elemento en particular tienen el mismo número de protones; este es el número atómico del elemento. Los átomos de un elemento dado, no obstante, pueden tener diferentes números de masa; el número de masa es el número de nucleones presentes en el núcleo. Los átomos con un mismo número atómico pero con diferentes números de masa se conocen como *isótopos*.

Los tres isótopos del uranio presentes en la naturaleza son uranio 234, uranio 235 y uranio 238, donde los sufijos numéricos representan el número de masa:



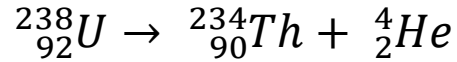
La inmensa mayoría de los núcleos presentes en la naturaleza son estables y permanecen intactos indefinidamente. Los radionúclidos (núcleos radioactivos), en cambio, son inestables y emiten espontáneamente partículas y radiación electromagnética. La emisión de radiación es una de las formas en que un núcleo inestable se transforma en uno más estable con menos energía. La radiación emitida es la portadora del exceso de energía.

Por ejemplo, el uranio 238 es radioactivo y sufre una reacción nuclear en la que se emiten espontáneamente núcleos de helio 4. Las partículas de helio 4 se conocen como *partículas alfa* ( $\alpha$ ), y una corriente de estas partículas recibe el nombre de radiación alfa. Cuando un núcleo de uranio 238 pierde una partícula alfa, el fragmento restante tiene un número atómico de 90 y un número de masa de 234; por tanto es un núcleo de torio 234.

---

<sup>1</sup> **Serie radioactiva:** Eventualmente todos los elementos radioactivos fueron descubiertos gracias al análisis de tres series radioactivas del uranio (<sup>238</sup>U), torio (<sup>232</sup>Th) y del actinio (<sup>227</sup>Ac) respectivamente. Una serie radiactiva se entiende como la serie de reacciones nucleares que parte de un núcleo inestable y termina en un núcleo estable. Se les conoce también como series de desintegración nuclear.

<sup>2</sup> **Núcleo atómico:** Porción con carga positiva de un átomo; es muy pequeña y densa y está constituida por protones y neutrones.



Por otro lado, en estos primeros años de desarrollo del estudio de la radioactividad, dos acontecimientos tuvieron particular importancia; primero, la identificación de tres tipos de radiación,  $\alpha$  (alfa),  $\beta$  (beta) y  $\gamma$  (gamma), que se distinguen por su diferente poder de penetración en la materia, y segundo, la comprensión de que en las series de desintegración nuclear existe un producto con un comportamiento químico como el de un gas inerte (conocido también como gas noble). En experimentos de refracción en campos eléctricos y magnéticos se logró establecer que la radiación  $\alpha$  y  $\beta$  se identificaban como corrientes de iones de helio y corrientes de electrones respectivamente. La radiación  $\gamma$  fue identificada en corrientes de radiación electromagnética (fotones de alta energía) similar a los rayos X.

	<b><i>Tipos de radiación</i></b>		
<b><i>Propiedad</i></b>	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
Carga	$2^+$	$1^-$	0
Masa	$6.64 \times 10^{-24}$ g	$9.11 \times 10^{-28}$ g	0
Poder relativo de penetración	1	100	10000
Naturaleza de la radiación	Núcleos de helio 4	Electrones	Fotones de alta energía.

La identificación de los procesos de desintegración nuclear llevó a la generación de teorías para definir la estructura del átomo. Después de la sugerencia de varios modelos, ninguno de ellos totalmente satisfactorios, el gran avance se produjo en un estudio realizado por el británico Ernest Rutherford también en 1911. Basándose en un gran número de cuidadosos experimentos cuantitativos sobre la dispersión de partículas en delgadas láminas de oro, Rutherford propuso que la mayor parte de la masa de un átomo debe concentrarse en una carga positiva dentro del núcleo, extremadamente pequeña en comparación con el tamaño del átomo; dicha carga positiva tenía que ser equilibrada por una carga negativa contenida en los electrones que rodean al núcleo.

Una vez que la teoría de Rutherford del núcleo del átomo, fue aceptada, la elucidación de la estructura del átomo tuvo enormes avances. Uno de los parteaguas más importantes, como consecuencia de los trabajos de Rutherford, fue la teoría de las orbitas de los electrones. Esto fue de gran importancia ya que estos estudios dieron pie al desarrollo de las teorías cuánticas en la década de 1920.

No obstante, no fue hasta la década de 1930 que el término “química nuclear” tomo fuerza dentro de la rama de las ciencias químicas. Con la producción artificial de radioactividad en 1934, los químicos de la época se involucraron de manera más amplia en el estudio de las propiedades y las reacciones del núcleo atómico. Sin embargo la posibilidad de la producción artificial fue precedida de eventos cruciales; los descubrimientos del neutrón gracias al físico inglés James Chadwick y del deuterio<sup>3</sup> por el químico estadounidense Harold Clayton en 1932. Cabe resaltar la invención de algunos artefactos como el generador electrostático por Robert Van de Graaff en 1933, el ciclotrón construido por Ernest O. Lawrence y M.S. Livingstone en 1931 y el multiplicador de tensión, que llevó a sus creadores, el irlandés Ernest Walton y el inglés John Cockcroft en el inicio de los 30's, a tener la capacidad de acelerar partículas hasta tener la energía necesaria para obtener transformaciones nucleares.

Estos, entre otros acontecimientos, dentro de un lapso de 5 años dieron un rápido florecimiento a la física y química nuclear. Pero fue hasta diciembre de 1938 cuando hubo un enorme punto de inflexión en la historia de la ciencia nuclear; el descubrimiento de la fisión nuclear<sup>4</sup>.

Dicho acontecimiento fue logrado por el físico italiano Enrico Fermi y sus colegas de Roma y poco tiempo después por el químico alemán Otto Hahn y sus colaboradores de Berlín. Ambos grupos de investigadores intentaban generar elementos transuránicos<sup>5</sup>.

Hahn, entre sus productos de reacción, descubrió el bario. Fue tan inesperada la presencia de dicho elemento que puso en duda dicha identificación. Hahn envió una carta a una de sus colaboradoras, la física austriaca Lisa Meitner, explicándole sus experimentos. Después de analizarlos, Meitner determinó que en los experimentos de

---

<sup>3</sup> **Deuterio:** Isotopo del hidrógeno cuyo núcleo contiene un protón y un neutrón.

<sup>4</sup> **Fisión nuclear:** División de un núcleo grande en dos núcleos más pequeños.

<sup>5</sup> **Elementos transuránicos:** Elementos de la tabla periódica de número atómico mayor a 92.



Otto Hahn estaba ocurriendo un nuevo proceso nuclear en el que el uranio 235 se dividía, al cual llamó fisión nuclear.

Meitner compartió este descubrimiento con su sobrino Otto Frisch, quien trabajaba con Niels Bohr en Copenhague. Frisch al repetir el experimento, corroboró las observaciones de Hahn y descubrió además que en el proceso intervenían energías enormes. En enero de 1939, Meitner y Frisch publicaron un breve artículo donde describían la nueva reacción. En marzo del mismo año, el físico húngaro-estadounidense Leo Szilard y el físico canadiense Walter Zinn, de la universidad de Columbia, descubrieron que en cada fisión se producen más neutrones que los que se utilizan, lo cual permite que se genere una reacción en cadena.

La noticia de estos descubrimientos y la posibilidad de su potencial uso en dispositivos explosivos se difundieron rápidamente. Varios científicos persuadieron al científico más famoso de la época, el alemán Albert Einstein, a escribir una carta al presidente estadounidense Roosevelt para exponer las implicaciones de estos descubrimientos. La carta de Einstein, realizada en agosto de 1939, apenas días antes del comienzo de la Segunda Guerra Mundial y describía las posibles aplicaciones militares de la fisión nuclear y recalca el peligro que representarían las armas basadas en la fisión nuclear si es que los nazis las llegaran a perfeccionar. Hacia finales de 1941, el presidente estadounidense, Franklin Delano Roosevelt, tomó la decisión de construir una bomba con base en la fisión nuclear. Se inició entonces un proyecto gigantesco de investigación; el famoso "Proyecto Manhattan". El 2 de diciembre de 1942 se consiguió la primera reacción de fisión nuclear en cadena autosustentable. Este logro dio lugar a la creación de la primera bomba nuclear en el Laboratorio Nacional de Los Álamos, en Nuevo México, Estados Unidos, en julio de 1945.

El resto es historia. En las décadas que siguieron al trágico desenlace en Hiroshima y Nagasaki, las potencias del mundo se enfrentaron en una carrera armamentística por amasar el mayor arsenal nuclear posible. Dicha tensión llegó a su punto más alto en el climax de la guerra fría y la crisis de los misiles en Cuba en Octubre de 1962. A raíz de este acontecimiento se dieron pasos importantes para tratar de detener la proliferación y promover el desmantelamiento de armas nucleares como el tratado de Tlatelolco en

1967, el tratado para la no proliferación nuclear al año siguiente y por última el Tratado para la Prohibición Completa de Ensayos Nucleares en 1993.

No obstante, aún queda un largo camino por recorrer. En este sentido, en los siguientes capítulos se hará primero, un análisis puntual de los procesos químicos involucrados en la creación de una bomba atómica y lo que sucede tanto químicamente como los efectos de la radiación en la salud y desarrollo humano una vez que se detona. Después, un recuento histórico y un análisis de la actualidad de los tratados internacionales, y por último, dedicarnos a explorar el potencial y el papel del ingeniero químico como pieza fundamental para avanzar en la prohibición y el desmantelamiento de las armas nucleares.

# Capítulo 1

## Cambios de energía en reacciones nucleares

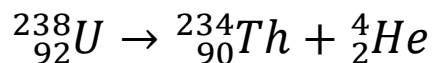
Las energías asociadas a las reacciones nucleares se pueden analizar con ayuda de la famosa ecuación de Einstein, que relaciona la masa y la energía:

$$E = mc^2$$

En esta ecuación,  $E$  representa la energía,  $m$  la masa y  $c$  la velocidad de la luz ( $3.00 \times 10^8$  m/s). Esta ecuación establece que la masa y la energía de un objeto son proporcionales. Si un sistema pierde masa, pierde energía (proceso exotérmico); si gana masa, gana energía (proceso endotérmico). Por ser la constante de proporcionalidad de la ecuación,  $c^2$ , un número tan grande, incluso los cambios pequeños de masa se dan acompañados de grandes cambios de energía.

Los cambios de masa en las reacciones químicas son demasiado pequeños para detectarlos con facilidad. Por ejemplo el cambio de masa asociado con la combustión de un mol<sup>6</sup> de  $\text{CH}_4$  (proceso exotérmico) es de  $-9.9 \times 10^{-9}$  g. Por ser tan pequeño el cambio de masa, es posible tratar a las reacciones químicas como si la masa se conservase.

En las reacciones nucleares los cambios de masa y los cambios de energía asociados son mucho mayores que en las reacciones químicas. Por ejemplo, el cambio de masa en la desintegración radioactiva de un mol de uranio 238 es 50,000 veces mayor que el correspondiente a la combustión de un mol de  $\text{CH}_4$ . Analicemos el cambio de energía de esta ecuación nuclear:



---

<sup>6</sup> **Mol**: Un número de Avogadro de objetos (es decir,  $6.022 \times 10^{23}$ ); por ejemplo, un mol de  $\text{H}_2\text{O}$  contiene  $6.022 \times 10^{23}$  moléculas de  $\text{H}_2\text{O}$ .

Los núcleos participantes en esta reacción tienen las masas siguientes: U, 238.0003 uma<sup>7</sup>, Th, 233.9942 uma; y He, 4.0015 uma. El cambio de masa,  $\Delta m$ , es la masa total del producto menos la masa total de los reactivos. Esto permite expresar en gramos el cambio de masa correspondiente a la desintegración de un mol de uranio 238:

$$233.9942 \text{ g} + 4.0015 \text{ g} - 238.0003 \text{ g} = \mathbf{-0.0046 \text{ g}}$$

El hecho de que el sistema haya perdido masa indica que el proceso es exotérmico. De hecho todas las reacciones nucleares espontáneas son exotérmicas. La ecuación de Einstein permite calcular el cambio de energía por mol asociado con esta reacción:

$$\Delta E = \Delta(mc^2) = c^2\Delta m$$

$$\Delta E = (2.9979 \times 10^8 \text{ m/s})^2(-0.0046 \text{ g})(1 \text{ kg} / 1000\text{g})$$

$$\Delta E = -4.1 \times 10^{11} \text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}^2 = \mathbf{-4.1 \times 10^{11} \text{ J}}$$

Nótese que el  $\Delta m$  se convierte a kilogramos, la unidad SI<sup>8</sup> de masa, para obtener el  $\Delta E$  en joule, la unidad SI de energía.

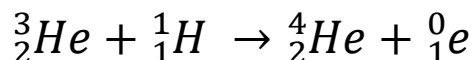
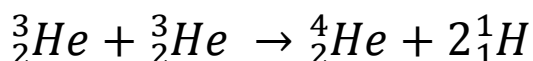
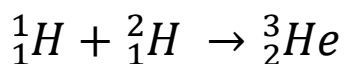
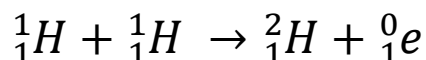
---

<sup>7</sup> **Unidad de masa atómica (uma):** Unidad basada en el valor de exactamente 12 uma para la masa del isótopo de carbono que tiene seis protones y seis neutrones en su núcleo.

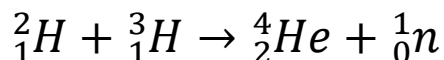
<sup>8</sup> **Unidades SI:** Unidades métricas preferidas en las ciencias. Corresponden al Sistema Internacional de unidades.

## Fusión Nuclear

La fusión nuclear ocurre cuando se unen dos núcleos ligeros para formar otro más pesado. Este proceso es exotérmico. La energía que genera el Sol son reacciones de este tipo. Los estudios espectroscópicos indican que el Sol está compuesto de 73% de Hidrógeno (H), 26% de Helio (He) y sólo el 1% de todos los demás elementos, en masa. Entre los diversos procesos de fusión que se piensa se llevan a cabo los siguientes:



La fusión resulta atractiva como fuente de energía debido a la disponibilidad de isotopos ligeros y porque, en general, los productos de fusión no son radioactivos. Pese a lo anterior actualmente no se utiliza la fusión para generar energía. El problema radica en que se necesita aplicar energías muy grandes para vencer la repulsión entre los núcleos. Es por ello que a las reacciones de fusión también se les conoce como **reacciones termonucleares**. La temperatura más baja que se requiere para cualquier fusión es la necesaria para fusionar deuterio y tritio (isótopo de hidrógeno que tiene un protón y dos neutrones en su núcleo.):



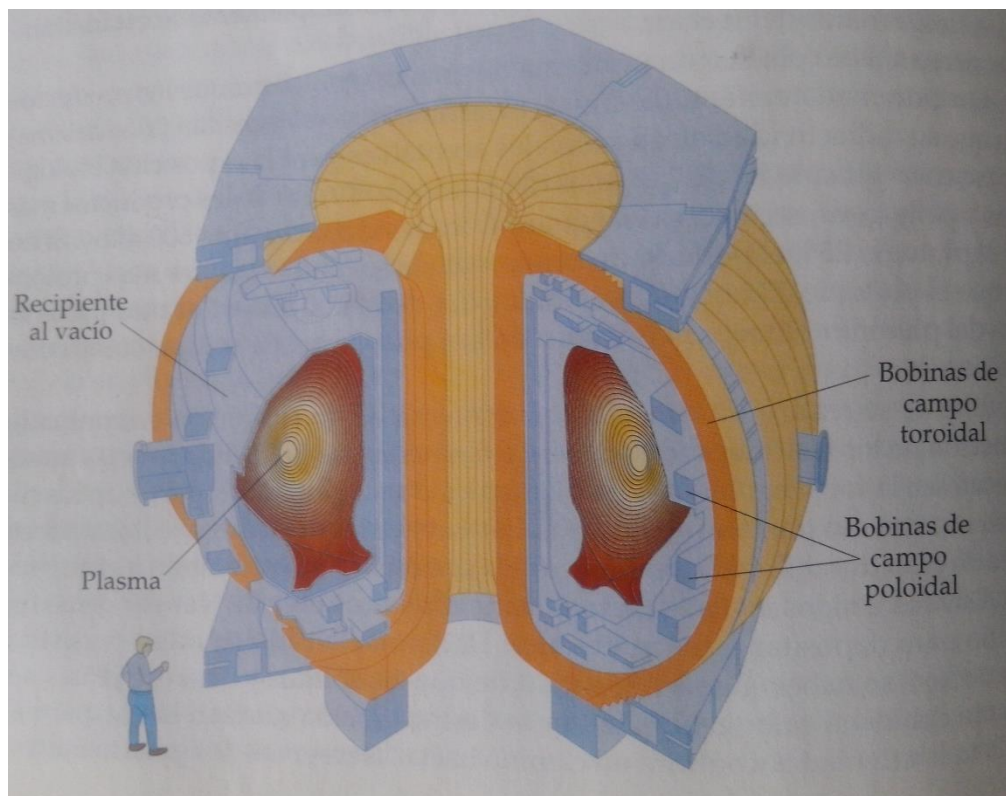
Esta reacción requiere una temperatura de alrededor de 40,000,000 K<sup>9</sup>.

---

<sup>9</sup> Kelvin (K) es la unidad SI para la temperatura; 0 K = -273.15°C.

Estas temperaturas tan elevadas se han alcanzado utilizando una bomba nuclear para iniciar el proceso de fusión. Esto se hace en la bomba termonuclear o bomba de hidrógeno. Este método resulta inaceptable para la generación regulada de energía.

Es necesario resolver numerosos problemas para hacer de la fusión una fuente práctica de energía además de las altas temperaturas necesarias para iniciar la reacción, se tiene el problema de confinarla. Ningún material estructural conocido es capaz de soportar las elevadas temperaturas que la fusión exige. Las investigaciones se han concentrado en el uso de un aparato llamado *tokamak*, que utiliza potentes campos magnéticos para confinar y calentar la reacción.



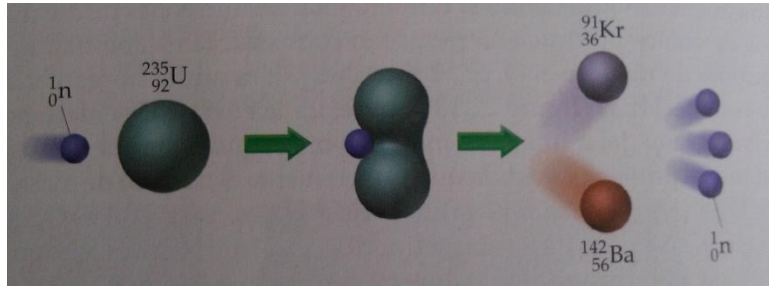
*\*Dibujo del reactor experimental de fusión tokamak.*

Se han alcanzado temperaturas cercanas a los 3,000,000 K en un tokamak, pero estas no bastan para iniciar una fusión continua.

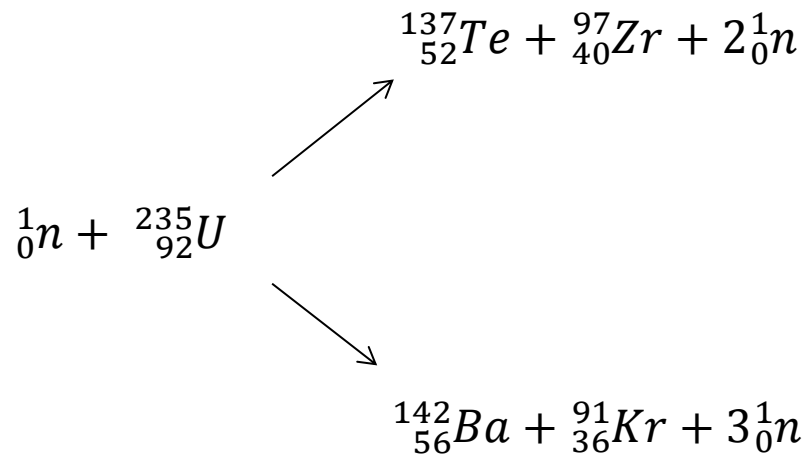
## Fisión nuclear

La división de núcleos pesados (**fisión**), como la unión de núcleos ligeros (**fusión**) son procesos exotérmicos. Las centrales nucleoelectricas comerciales y el armamento nuclear más común dependen de la fisión nuclear para su funcionamiento.

*La primera fisión nuclear en descubrirse fue la del uranio 235.*



Un núcleo pesado se puede dividir de muchas maneras diferentes, en las siguientes ecuaciones se muestran dos posibles divisiones del uranio 235:



Se han hallado más de 200 isótopos de 35 elementos diferentes entre los productos de fisión del uranio 235.

En promedio, cada fisión de uranio 235 produce 2.4 neutrones. Si una fisión produce dos neutrones, éstos a su vez, pueden provocar dos fisiones. Los cuatro neutrones así

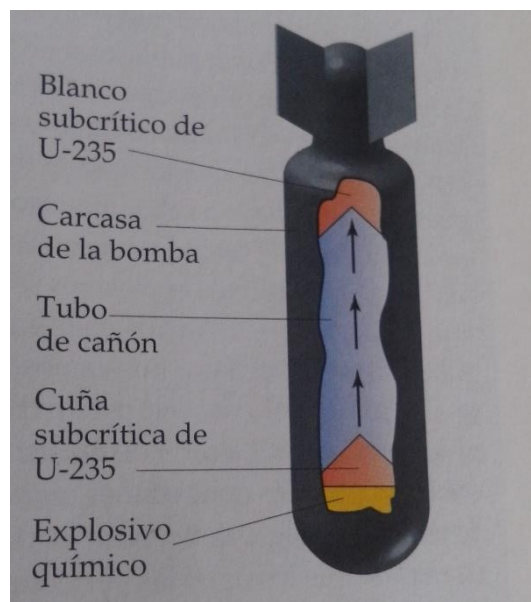


liberados pueden producir otras cuatro fisiones y así sucesivamente. El número de fisiones y de energía liberada incrementa velozmente, si el proceso no es controlado genera una violenta explosión. Las reacciones que se multiplican de este modo se les llaman **reacciones en cadena**.

Para llevar a cabo una reacción de fisión en cadena, la cantidad de material fisionable debe tener cierta masa mínima. De no ser así los neutrones escapan antes de tener la oportunidad de golpear otros núcleos y generar más fisiones.

La cantidad de material fisionable para sostener una reacción en cadena con una velocidad de fisión constante se le conoce como **masa crítica**. La masa crítica del uranio 235 es de aproximadamente 1kg. Si se tiene más de una masa crítica del material fisionable, son muy pocos los neutrones que escapan; es por eso que la reacción en cadena multiplica el número de fisiones y puede dar como resultado una explosión nuclear. Una masa que excede la masa crítica se le llama **masa supercrítica**.

En la parte posterior, en la figura se ilustra un diagrama de la primera bomba atómica utilizada con fines bélicos en Hiroshima, Japón el 6 de agosto de 1945. Para poder comenzar una reacción de fisión se requiere unir de manera violenta, por medio de explosivos químicos, dos masas subcríticas de uranio 235. Dicha unión genera una masa supercrítica que da origen a una reacción en cadena rápida y sin control trayendo como resultado una explosión nuclear.



La energía liberada por la bomba que se dejó caer sobre Hiroshima era equivalente a la de 20 mil toneladas de TNT (por esta razón se describe como una bomba de 20 kilotones).

Lamentablemente debido a su básico diseño, y a que los materiales fisionables están potencialmente disponibles para cualquier país, ha dado como resultado la proliferación de las armas nucleares.

## Los efectos de una explosión nuclear

Para comprender el significado de un arsenal nuclear, es necesario conocer la capacidad destructora de cada una de ellas. En los siguientes párrafos se explica cuáles son los efectos principales causados por la explosión de una bomba nuclear detonada sobre una ciudad moderna.

El poder destructivo de una bomba, sea de tipo nuclear o químico, está relacionado directamente con la energía que se libera durante la explosión. La energía que se libera en la explosión de 1,000 kilogramos de TNT (trinitrotolueno) es inmensa comparada con las energías encontradas en nuestras necesidades diarias. Por ejemplo, la detonación de una tonelada de TNT, libera 4,000 veces más energía que la necesaria para alzar un coche de 1,000 kilogramos de peso a una altura de 100 metros. Las explosiones de bombas nucleares liberan energías que son entre 1,000 y 1,000,000 de veces mayores aún que las detonaciones químicas, como sería la del TNT. El poder explosivo de una bomba nuclear, llamado rendimiento, se expresa mediante la comparación con el poder destructivo del TNT, y así se habla de bombas de un kilotón (1 kt) si la energía liberada es la misma que se produce al detonar 1,000 toneladas de TNT. La bomba lanzada sobre Hiroshima tuvo un rendimiento cercano a los 20 kt. Si el rendimiento es de 1,000 kt, se trata de una bomba de un megatón (un Mt). Energías del orden de megatones son imposibles de imaginar dentro de las situaciones de nuestra vida diaria.

Los efectos de una explosión nuclear dependen de muchos factores, entre ellos el rendimiento del artefacto, la altura sobre la superficie a la que es detonado, las condiciones climáticas, etc. El análisis que se presenta a continuación es el resultado de consideraciones físicas sencillas y de las observaciones y estudios realizados en Hiroshima y Nagasaki, las únicas dos oportunidades en que se han empleado bombas nucleares contra una población. A continuación se describen las consecuencias locales de una explosión nuclear superficial. Si la detonación es subterránea, submarina, o en la alta atmósfera, los resultados serán diferentes.

## Efectos inmediatos de la explosión nuclear

### **Calor**

Una millonésima de segundo después de una explosión nuclear la temperatura dentro de la bomba alcanza unos 10,000,000 °C. El material que compone la bomba y el aire que la rodea brillan intensamente formando lo que se conoce como la bola de fuego. El brillo de la bola, unos segundos después de la detonación de una bomba de un megatón, es mayor que el del Sol al mediodía a distancias de hasta 80 km del lugar donde se detonó la bomba. La bola se expande y en 10 segundos alcanza diámetros de un par de kilómetros y luego comienza a contraerse. El aire alrededor de la bola se calienta, la hace ascender a velocidades de unos 100 metros por segundo y forma el conocido hongo, cuyo tallo lo forma una corriente de aire caliente ascendente. A medida que la bola de fuego se enfría, la condensación de vapor de agua causa el color blanco, como una nube, en su extremo superior. Después de cuatro minutos, la nube de una explosión de 1 Mt ha llegado a su máxima altura, 20 km, y su diámetro alcanza unos 16 km.

El calor liberado en la explosión llega a los lugares cercanos después de algunos segundos en la forma de un pulso térmico. El daño que el pulso térmico puede causar depende de varios factores: la energía que transporta, el tipo de material con que se encuentra, y el tiempo durante el cual actúa.

En los seres humanos expuestos al pulso térmico, el daño depende de la pigmentación de la piel, siendo mayor para pieles morenas que blancas debido a la mayor absorción térmica que presentan las sustancias oscuras. Una quemadura de segundo grado — aquella en que se pierde parte de la piel— cicatriza normalmente en dos semanas, siempre que menos de 25% del cuerpo haya sido quemado; en caso contrario, se requiere de hospitalización. Este tipo de quemaduras se producen a distancias cercanas a los 13 km de una detonación de un megatón. Quemaduras más graves se producen al recibir mayor energía, lo que ocurre a distancias menores. La observación directa de la bola de fuego causa ceguera permanente en individuos que se encuentren a menos de 25 km, y quemadura de la retina a quien mire la explosión en un día despejado hasta los 60 km de distancia.

Cualquier material opaco actúa como blindaje contra el pulso térmico, de modo que las personas que se encuentren protegidas detrás de un árbol, una pared, o incluso sus propias vestimentas, no sufren los efectos directos de la energía calórica. Sin embargo, es posible que sufran daño serio de modo indirecto a causa de los incendios que el pulso puede desencadenar a su paso. La ropa se enciende con 20-25 calorías por centímetro cuadrado recibidas en pocos segundos, situación que se encuentra hasta a ocho km del punto de detonación. Entre los materiales que más fácil se prenden se encuentran el papel y las hojas secas. Estos incendios pueden verse empeorados debido a los fuertes vientos que acompañarán la onda de choque. Sobre recordar que en caso de una explosión nuclear sobre una ciudad los sistemas de urgencia, ambulancias, carros de bomberos, etc., estarán imposibilitados de circular en calles totalmente bloqueadas por los restos de edificios y construcciones. La probabilidad de sufrir una infección debido a las quemaduras recibidas se verá aumentada a causa del daño que el sistema inmunológico recibe por la radiación.

## **Presión**

La energía liberada por la explosión nuclear calienta la zona de la bomba a altas temperaturas. Esto produce una región de altísima presión que ejerce gran fuerza sobre las capas de aire vecinas, las que comienzan a expandirse a gran velocidad. La

velocidad es mayor que la del sonido en aire, así que se forma una onda de choque esférica compuesta por aire muy denso que se desplaza alejándose del punto de explosión. Al pasar esta onda por cualquier obstáculo, edificio, árbol, o cuerpo humano, éstos sentirán un aumento repentino de la presión atmosférica. Una vez que el frente de la onda ha pasado, y debido a la diferencia de presiones, se generan vientos de gran velocidad. Son estos dos factores, la onda de choque y el viento que la sigue, la causa del daño ocasionado a personas y construcciones. La energía transportada por estos mecanismos llega a ser 50% de la energía liberada por la bomba.

El aumento instantáneo de la presión durante el paso de la onda de choque se mide respecto de la presión atmosférica normal, a la diferencia entre ambas se la llama **sobrepresión**, la unidad SI para la presión es el Pascal<sup>10</sup>(Pa). Sobrepresiones entre 3.45 y 6.89 kPa tienen como efecto la ruptura de los vidrios de las ventanas, 34.47 kPa causan la destrucción de construcciones de madera, entre 55.16 y 68.95 kPa destruyen viviendas de ladrillo, y sobrepresiones de 310.26 kPa pueden causar la muerte del 50% de las personas debido a la compresión del cuerpo causada por la elevada presión. Los vientos que siguen al paso de la onda de choque llegan a alcanzar 50 kilómetros por hora tras sobrepresiones de un 6.89 kPa y hasta 500 km/h tras alcanzar los 68.95 kPa.

El daño en las construcciones se debe al efecto directo de la sobrepresión y del viento. En caso de una explosión de un megatón a 1,500 m de altura, todo lo que se encuentre en la superficie a una distancia menor que 2.5 km del punto de explosión sentirá sobrepresiones mayores que 137.9 kPa seguidas por vientos de al menos 700 km/hora. En estas condiciones, incluso los edificios de concreto reforzado resultan destruidos. Sobrepresiones cercanas a 6.89 kPa se darán en puntos que se encuentran a unos 15 km del punto de explosión, y en esta zona el daño a viviendas y comercio será moderado.

En los seres humanos el efecto directo más serio de la sobrepresión es el daño a la estructura pulmonar, que comienza a las 82.7 kPa. Cuando se rebasan los 690 kPa de sobrepresión prácticamente no hay sobrevivencia humana.

---

<sup>10</sup> **1 Pa** = 1 N/m<sup>2</sup> (Donde N = kg\*m / s<sup>2</sup>). La presión atmosférica a nivel del mar es de 101.325 kPa (kPa = pascales multiplicados por 1000)

Sin embargo, la mayoría de víctimas y heridos se deben a los efectos indirectos, sobre todo al impacto de objetos que han sido lanzados por el viento. Una ventana destruida por una sobrepresión de 27 kPa se transforma en miles de proyectiles llevados por vientos de casi 200 kilómetros por hora.

La protección de la población frente a los efectos de la onda de presión se puede lograr adentro de edificios que eviten el impacto de los objetos que vuelan en el exterior. En caso de existir un aviso lo bastante anticipado de la explosión, se ha recomendado a la población ingresar a un edificio, abrir las ventanas y puertas interiores para evitar que se rompan, quitar todo objeto suelto que pueda transformarse en proyectil, y cubrirse (idealmente con colchones) como protección. Es preferible acostarse sobre el piso que permanecer de pie y, de ser posible, alejarse de las paredes ya que la onda de presión al ser reflejada por éstas pueden alcanzar fuerzas de hasta ocho veces el valor original. En Hiroshima un edificio público a sólo 160 metros del punto de explosión protegió efectivamente al 50% de sus ocupantes a pesar de una sobrepresión estimada de 206 kPa en el lugar.

## **Radiación**

Las reacciones nucleares que ocurren durante la explosión de una bomba producen diferentes tipos de partículas energéticas y de radiaciones. Algunas son emitidas de inmediato y otras, tiempo después de la detonación.

Los únicos productos de las reacciones nucleares que escapan fuera del material que forma la bomba son los rayos gamma y los neutrones. Los primeros son una forma energética de radiación electromagnética que se desplaza a la velocidad de la luz, y los segundos son partículas sin carga eléctrica que forman parte de los núcleos atómicos. La intensidad de estas radiaciones disminuye con la separación al punto de explosión principalmente debido a que son atenuadas por el aire.

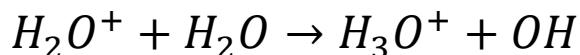
### *Efectos biológicos de la radiación*

Los seres humanos somos objeto de un bombardeo continuo de radiación proveniente de fuentes tanto naturales como artificiales. Por ejemplo, estamos expuestos a la radiación infrarroja, ultravioleta y visible del Sol, a ondas de radio de las estaciones de radio y televisión y a rayos X de diversos procedimientos médicos. También estamos expuestos a la radiactividad del suelo y de otros materiales naturales. Es necesario entender las diferentes energías de estos diversos tipos de radiación para comprender sus efectos sobre la materia.

Cuando la materia absorbe radiación, la energía de esta puede excitar o ionizar la materia. Hay excitación cuando la radiación absorbida excita los electrones a estados energéticos más altos o aumenta el movimiento de las moléculas haciéndolas desplazarse, vibrar o girar. Se produce ionización cuando la radiación arranca un electrón a un átomo o molécula. En general, la radiación que provoca la ionización, conocida como **radiación ionizante**, es mucho más nociva para los sistemas biológicos que la **radiación no ionizante**. Esta última, es de menor energía, parecida a la radiación electromagnética de radiofrecuencias.

Casi todos los tejidos vivos contienen al menos 70% de agua en masa. Cuando se irradian tejidos vivos, las moléculas de agua absorben la mayor parte de la radiación. Por ende, es común definir la radiación ionizante capaz de ionizar el agua, proceso que requiere una energía mínima de 1216 kJ/mol. Los rayos alfa, beta y gama (así como los rayos X y la radiación ultravioleta de mayor energía) poseen energías por encima de esta cantidad, por consecuencia también son formas de radiación ionizante.

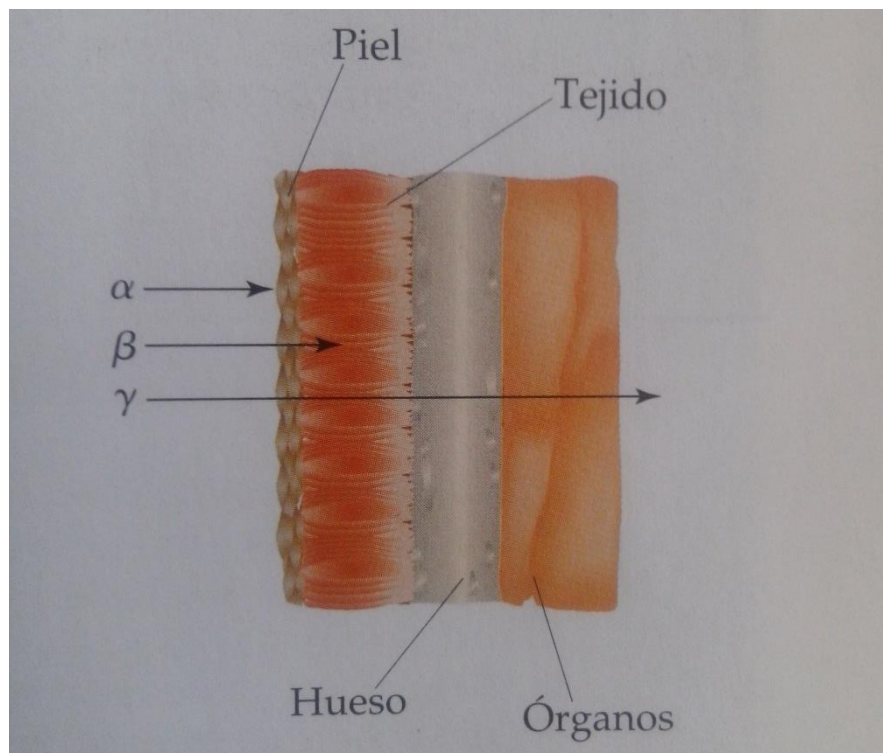
Cuando la radiación ionizante atraviesa tejidos vivos, las moléculas de agua pierden electrones y forman iones  $H_2O^+$  sumamente reactivos. Un ion  $H_2O^+$  reacciona con otra molécula de agua para formar un ion  $H_3O^+$  y una molécula neutra de OH:



La inestable y muy reactiva molécula OH es un **radical libre**; sustancia con uno o más electrones no apareados. En las células y tejidos estas partículas atacan una multitud de biomoléculas del entorno y producen nuevos radicales libres, éstos a su vez atacan

otros compuestos. Es así como la formación de un solo radical libre inicia un gran número de reacciones químicas que trastornan el funcionamiento normal de las células.

El daño producido por la radiación depende de la actividad y energía de la radiación, de la duración de la exposición, y del hecho de que la fuente esté dentro o fuera del organismo. Fuera del cuerpo, los rayos gamma son particularmente nocivos porque penetran los tejidos humanos con gran eficacia, al igual que los rayos X. En cambio, la piel detiene casi todos los rayos alfa, y los rayos beta solo consiguen penetrar cerca de un centímetro más allá de la superficie de la piel.



Ninguna de estas radiaciones es tan peligrosa como los rayos gamma a menos que la fuente de radiación entre en el cuerpo de alguna forma. Dentro del cuerpo, los rayos alfa son particularmente peligrosos porque transfieren con gran eficiencia su energía a los tejidos circundantes y provocan daños considerables.

En general, los tejidos que muestran mayor daño a consecuencia de la radiación son los que se reproducen con rapidez, como la médula ósea, los tejidos formadores de la sangre y los nódulos linfáticos. El efecto principal de una exposición prolongada a dosis baja de radiación es que favorece el cáncer. El cáncer se debe a daños sufridos por el mecanismo regulador del crecimiento de las células, los cuales inducen a las células a



reproducirse sin control. La leucemia, que se caracteriza por el crecimiento excesivo de glóbulos blancos de la sangre, es probablemente el principal problema de cáncer asociado con la radiación.

### *Dosis de radiación*

Dos unidades de uso común que se usan para medir la cantidad de exposición a la radiación son el *gray* y el *rad*. El **gray** (Gy), que es unidad SI de dosis absorbida, corresponde a la absorción de 1 J de energía por kilogramo de tejido. El **rad** (*radiation absorbed dose*; dosis de radiación absorbida) corresponde a la absorción de  $1 \times 10^{-2}$  J de energía por kilogramo de tejido. Por ende,  $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$ . El rad es la unidad de uso más frecuente en la medicina.

No todas las formas de radiación dañan los materiales biológicos con la misma eficiencia. Un rad de radiación alfa puede producir más daño que un rad de radiación beta. Para hacer la corrección de estas diferencias, la dosis de radiación se multiplica por un factor que mide el daño biológico relativo provocado por la radiación. Este factor es conocido como la *efectividad biológica relativa* de la radiación (*RBE*, por sus siglas en inglés). La RBE es de aproximadamente 1 en el caso de la radiación gamma y beta, y de 10 en el de la radiación alfa. El valor exacto de la RBE varía con la rapidez de la dosis, la dosis total y el tipo de tejido afectado. El producto de la dosis de radiación en rads y la RBE de la radiación proporciona la dosis efectiva en unidades de **rem** (*roentgen equivalent in man*; equivalente en roentgens en el hombre):

$$\text{Número de rem} = (\text{número de rad})(\text{RBE})$$

La unidad SI de dosis efectiva es el sievert (Sv), que se obtiene multiplicando la RBE por la dosis de radiación: el gray;  $1 \text{ Sv} = 100 \text{ rem}$ . El rem es la unidad de daño por radiación que se emplea habitualmente en medicina.

Una exposición de 600 rem es mortal para casi cualquier ser humano. Para poner este número en perspectiva, una radiografía dental implica una exposición de alrededor de 0.5 mrem. La exposición media de una persona en un año debida a todas las fuentes naturales de radiación ionizante es de alrededor de 360 mrem. En la siguiente tabla se muestran los efectos de la exposición de corto plazo a la radiación:

<b>Dosis (rem)</b>	<b>Efecto</b>
0 a 25	No hay efectos clínicos detectables.
25 a 50	Disminución temporal leve de la cuenta de glóbulos blancos.
100 a 200	Nausea; notable disminución de los glóbulos blancos.
500	Muerte de la mitad de la población expuesta dentro de los 30 días siguientes a la exposición.

La dosis inmediata causada por una explosión nuclear puede llegar a los millones de rads cerca del lugar de la detonación, pero es rápidamente atenuada por el aire. En el caso de una bomba de alto rendimiento (megatones), la zona de dosis letal se sitúa adentro de la región devastada por el calor y la presión, por lo que la radiación inmediata no contribuye con nuevas víctimas. Para bombas pequeñas (pocos kilotones), la zona de dosis superior a los 400 rads coincide con la zona donde los efectos de la onda de choque y del calor son causa probable de muerte.

## **Pulso electromagnético**

En contraste con los tres efectos inmediatos ya descritos, el pulso electromagnético no causa ni la destrucción física de viviendas ni daño directo a los seres vivos. Con las excepciones de personas que tengan un marcapasos o necesiten de una máquina para sobrevivir, como en el caso de un respirador artificial. En cambio, puede ser devastador para los sistemas telefónicos, de comunicaciones, de cómputo, y en general para cualquier circuito que contenga componentes electrónicos. Los efectos del pulso llegan a miles de kilómetros de distancia de la explosión.

Al detonar una bomba nuclear se produce una gran cantidad de rayos gamma emitidos en todas direcciones. Estos rayos se encuentran con las moléculas del aire, les arrancan algunos de sus electrones que son así acelerados, y se produce un pulso de campo electromagnético que se desplaza por el espacio a la velocidad de la luz. Ya que la intensidad inicial de radiación es muy grande, las diferencias de potencial producidas por este fenómeno son inmensas, llegando a alcanzar miles de voltios por

metro. Diferencias de potencial de esta magnitud inducen corrientes del orden de miles de amperes en los materiales conductores encontrados por el pulso. Estos pueden ser las líneas de alumbrado, las antenas, los aparatos de radio y TV, las estaciones de transmisión y las computadoras. Como estos equipos por lo general no están protegidos contra corrientes tan altas, seguramente quedarán inservibles una vez pasado el pulso. Otros sistemas que podrían resultar dañados por el pulso electromagnético son los de control militar, que quedarían así incapacitados para responder al ataque.

Se estima que una sola bomba de un megatón detonada a gran altura (unos 500 km) sobre el centro de los Estados Unidos, podría destruir gran parte del sistema de telecomunicaciones, la red de distribución de energía eléctrica, y dañar seriamente el equipo de radares, aviones y misiles militares.

## Efectos tardíos

### **Lluvia radiactiva**

Se llama lluvia radiactiva a la caída sobre la superficie terrestre del material radiactivo producido por una explosión nuclear. Los átomos que forman esta lluvia emiten continuamente algún tipo de radiación que en potencia es dañina para los seres vivos alcanzados por ella.

Durante la explosión de una bomba nuclear, se producen muchos tipos de núcleos radiactivos, en particular los fragmentos de la fisión del uranio. Estos núcleos permanecen localizados en la zona que ocupaba la bomba y son vaporizados por la alta temperatura de la bola de fuego. También se producen neutrones que escapan de la bomba a gran velocidad y son absorbidos por los materiales sobre la superficie. Muchos núcleos estables al absorber un neutrón se transforman en núcleos radiactivos que a partir de ese momento comienzan a emitir radiación espontáneamente. Gran parte del material situado cerca del punto de la explosión (para una detonación de baja altura) es aspirado por la corriente de aire ascendente creada por la bola de fuego y

sube a la atmósfera a través del tallo del hongo nuclear. Entre las sustancias que son inyectadas a la atmósfera por la explosión se encuentran los fragmentos de fisión y los núcleos activados por los neutrones. Este material radiactivo regresará a la superficie terrestre dentro de algunos días, meses o años, de acuerdo con el tamaño de la partícula a la cual están incorporados. Las partículas grandes —de algunos milímetros— ascienden hasta la baja atmósfera y vuelven a caer dentro de uno o dos meses arrastrados principalmente por la lluvia y la nieve. El polvo más fino —de milésimas de milímetro— logra llegar a la alta atmósfera, y ahí puede permanecer entre uno y tres años antes de regresar a la superficie. Los vientos y la circulación del aire entre las capas atmosféricas determinan dónde caerá la lluvia radiactiva, pudiendo trasladarse incluso de un hemisferio a otro antes de volver a la superficie. Debido a la lluvia radiactiva se producen altos niveles de radiación que disminuyen a medida que transcurre el tiempo.

Los valores absolutos de la dosis dependen del tipo de bomba, del rendimiento, de la altura de la explosión, y de la distancia al punto de detonación, entre otros factores. Si todo el material radiactivo producido por la detonación de una bomba de fisión de un kilotón se distribuyera en un cuadrado de 1 kilómetro por lado, una hora después de la explosión la dosis a un metro de altura en el centro del cuadrado sería de unos 5 000 rads/ hora.

El principal riesgo biológico de la lluvia radiactiva lo constituyen los rayos gamma emitidos por el material activado. Esta radiación es muy penetrante y atraviesa el cuerpo de los seres humanos depositando en ellos parte de su energía. También se emiten partículas alfa y beta, pero son poco penetrantes, el grosor de la ropa o la piel las detiene, y sólo causarían quemaduras si se depositaran directamente sobre la piel. Un riesgo especial lo constituye la incorporación de núcleos radiactivos a la cadena alimentaria, ya sea a través de la comida ingerida por los animales o en forma directa por el ser humano. En este caso, la radiación poco penetrante emitida desde el interior del cuerpo es totalmente absorbida por el mismo organismo y el riesgo de enfermedades genéticas y de cáncer es muy alto, incluso para dosis pequeñas de radiación.

En Japón cientos de isleños que normalmente habitaban en el norte de la isla se encontraban en la parte sur, asistiendo a una celebración religiosa. Recibieron unos

175 rads y se salvaron por milagro de la muerte inmediata, pero el grupo presentó posteriormente alta incidencia de cáncer y enfermedades en la glándula tiroides. Los niveles letales de dosis llegaron hasta los 350 km de distancia, y la radiactividad fue tal que se debió controlar la pesca en el Japón, pues las corrientes marinas transportaron sustancias radiactivas y peces contaminados por ellas hasta las costas niponas.

## **Incendios extendidos**

Como consecuencia del daño inmediato causado por la onda de presión y el calor, se producirán incendios aislados que podrían incorporarse a uno más generalizado. Tuberías de gas destrozadas, acumulaciones de madera o papeles, y sobre todo detalles geográficos de la ciudad determinarán la extensión del fenómeno. Después de la explosión sobre Hiroshima se produjo un gran incendio que asoló varias manzanas de la ciudad. En Nagasaki esto no ocurrió debido al terreno accidentado, lleno de colinas, que bloquearon parcialmente el calor y el viento e impidieron que los incendios pequeños se fundieran en uno solo. Estos incendios son similares a las "tormentas de fuego" conocidas en ciudades europeas después de los bombardeos aéreos de la segunda Guerra Mundial.

Cualquier edificio o subterráneo es un refugio seguro, al menos durante un par de horas, en la posibilidad de uno de estos grandes incendios. Las principales precauciones que se deben tomar son mantener una reserva suficiente de oxígeno y evitar la entrada del monóxido de carbono producido en la combustión externa al refugio.

Es muy probable que Roosevelt, al dar la instrucción de crear la primera bomba nuclear, no tuviera en cuenta las desgarradoras consecuencias que traería. No cabe duda que la detonación de las bombas nucleares en Japón en 1945 dieron fin a la segunda guerra mundial, pero fue el comienzo de otra, la cual sigue vigente hasta hoy; la guerra contra el uso y la proliferación del armamento nuclear. En el siguiente capítulo, presento un recuento histórico de los tratados internacionales y un análisis de la actualidad de los diferentes esfuerzos para prohibir el uso de las armas nucleares en nuestro planeta.

# Capítulo 2

# Antecedentes de los tratados de prohibición del uso y producción de armas nucleares.

Los partidarios del control de armas comenzaron su campaña a favor de la adopción de un tratado que prohibiera toda explosión nuclear desde los primeros años de la década de los 50, cuando la preocupación pública sobre estos temas aumentó como resultado de la lluvia radiactiva procedente de los ensayos nucleares atmosféricos y la escalada en la guerra armamentística.

El Primer Ministro indio, Nehru, reflejó la preocupación internacional existente cuando, en 1954, propuso la eliminación de toda prueba de explosiones nucleares a lo largo del globo. Sin embargo, dentro del contexto de la Guerra Fría, el escepticismo existente en la capacidad de verificar el cumplimiento de un posible tratado que prohibiera completamente los ensayos de explosiones nucleares constituyó el mayor obstáculo en la firma de cualquier acuerdo.

A continuación presento los diferentes tratados que se llevaron a cabo en la última mitad del siglo XX.

## **Tratado del Antártico (Antarctic Treaty), 1961**

Originado en un momento de cooperación entre los dos rivales de la Guerra Fría, los Estados Unidos y la Unión Soviética, el Tratado Antártico entró en vigor el 23 de junio de 1961, después de que se abriera para su firma el 1 de diciembre de 1959. Este tratado obligaba a los estados firmantes a abstenerse de llevar a cabo “cualquier medida de naturaleza militar, incluido el ensayo de cualquier tipo de arma”, (entre las que se incluyen las nucleares) en la Antártida, y prohíbe el almacenamiento en dicho lugar de material radiactivo de desecho.

## **Tratado de Prohibición Parcial de Ensayos Nucleares (Partial Test Ban Treaty), 1963**

Tras la crisis de los misiles cubanos, el incremento de la presión pública en contra de los ensayos nucleares debido a sus implicaciones para la salud, el medio ambiente y la seguridad global, así como la preocupación por la escalada en la carrera armamentística llevaron a la firma del Tratado de Prohibición Parcial de Ensayos Nucleares (TPPEN) por parte de los Estados Unidos, el Reino Unido y la Unión Soviética el 5 de agosto de 1963. Este tratado prohibía los ensayos nucleares en la atmósfera, bajo el agua y en el espacio. Sin embargo, ni China ni Francia (ambas potencias nucleares) firmaron el tratado, y continuaron haciendo pruebas nucleares en la atmósfera hasta 1980 y 1974 respectivamente.

A pesar de tener un éxito limitado en el intento de prohibir completamente los ensayos nucleares, constituyó un importante paso adelante para la creación definitiva del Tratado de Prohibición Completa de Ensayos Nucleares (TPCEN).

### **Tratado de Tlatelolco, 1967**

Se trata de un acuerdo internacional para la Proscripción de las Armas Nucleares en América Latina y el Caribe, con el objetivo de promover la erradicación de armas nucleares de esos países por el temor suscitado por la crisis de los misiles en Cuba, ocurrido durante la guerra fría, cuando en el conflicto entre Estados Unidos y la Unión Soviética, éste último estado, pretendió establecer una base nuclear en Cuba para amenazar a Estados Unidos.

La COPREDAL (Comisión Preparatoria para la desnuclearización de América Latina) bajo la presidencia de Jorge Castañeda y Álvarez de la Rosa, se estableció en México, país cuyo presidente, Adolfo López Mateos fue el que tuvo la iniciativa del acuerdo. También se creó la OPANAL, organismo permanente, para la vigilancia del cumplimiento del tratado.

El acuerdo firmado por 33 países, el 14 de febrero de 1967 en la sede de la Secretaría de Relaciones Exteriores de México, en la ciudad de Tlatelolco, entró en vigencia el 25 de abril de 1969. Cuba no lo suscribió en esa oportunidad pero sí lo hizo, el 25 de



marzo de 1995. El 23 de octubre de 2002, Cuba, por intermedio de su embajada en México depositó el instrumento por el que ratificó el tratado.

El Tratado de Tlatelolco cuenta de un preámbulo, donde se expresan los objetivos que fundamentalmente son: consolidar un mundo de paz, para la supervivencia de los pueblos, contribuyendo a lo resuelto por la Asamblea General de las Naciones Unidas, bajo el número 1911, que dispuso que la Carta de las Naciones Unidas y los acuerdos regionales serían los principios que guiarían la labor de desarme de los países latinoamericanos y del Caribe, para su propio beneficio y el de toda la humanidad, y para no derrochar en armamento nuclear, los limitados recursos con que cuentan estos países, destinándolos a fines provechosos. Posee 32 artículos, más uno transitorio.

Además contiene dos protocolos adicionales. Por el primero, Estados Unidos, el Reino Unido, Francia y los Países Bajos, adhirieron al no uso de energía nuclear para fines bélicos. Por el protocolo II los estados que poseen armas nucleares se obligan a respetar a estas naciones que no las poseen.

El artículo 5 define a las armas nucleares como “todo artefacto que sea susceptible de liberar energía nuclear en forma no controlada y que tenga un conjunto de características propias del empleo con fines bélicos”.

Los organismos creados para el cumplimiento del tratado son: una Conferencia General, integrada por todos los países signatarios, que es el órgano supremo, con reuniones ordinarias cada dos años y extraordinarias en caso necesario, un Consejo de cinco miembros designados por la Conferencia General y una Secretaría con funciones administrativas (arts. 8 a 11).

La gran importancia de este tratado es que otras regiones del mundo siguieron el ejemplo de América latina: África, Asia Central y Sud-oriental y la zona del Pacífico Sur. Este tratado fue promovido en el sexenio del presidente Gustavo Díaz Ordaz por el diplomático Alfonso García Robles, quien entre otros puestos fue Secretario de Relaciones Exteriores y Embajador de México ante Naciones Unidas. Alfonso García Robles recibió el Premio Nobel de la Paz en 1982.

## **Tratado de No Proliferación Nuclear (Nuclear Non-proliferation Treaty), 1968**

La firma del Tratado de No Proliferación Nuclear en 1968 supuso otro gran paso adelante. Bajo este tratado, se prohíbe a los estados no nucleares la posesión, manufactura o adquisición de la forma que sea de armas nucleares, mientras que los estados nucleares; Estados Unidos, Reino Unido, Francia, Rusia y China, los únicos estados nucleares en el momento de la firma del tratado, se comprometen a no transferir tecnología sobre armas nucleares a otros países no nucleares. El objetivo final del tratado es alcanzar un desarme nuclear total.

## **Negociaciones para el Tratado de Prohibición Completa de los Ensayos Nucleares (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty; CTBT), 1993**

Dada la situación política que prevaleció durante las siguientes décadas no se consiguió avanzar demasiado hacia el desarme nuclear hasta 1991. En 1993, con el apoyo de la Asamblea General de las Naciones Unidas, comenzaron las negociaciones para la creación de un tratado que prohibiera totalmente los ensayos nucleares.

Uno de los temas más importantes de la negociación fueron las prioridades que cada país tenía respecto al tratado. Los países pertenecientes al Movimiento de Países No Alineados (NAM) estaban muy preocupados con la proliferación vertical (producción de más y más bombas y la mejora de la tecnología nuclear), mientras que los poderes nucleares se centraban más en la proliferación horizontal (producción de bombas nucleares por más y más países).

## **Adopción del CTBT, 1996**

Durante los siguientes tres años se realizaron intensos esfuerzos en la redacción del texto y sus dos anexos. Sin embargo, la Conferencia de Desarme, donde se estaban llevando a cabo las negociaciones, no consiguió alcanzar un consenso en la adopción del texto, debido fundamentalmente a la oposición de India. Finalmente Australia envió

el texto a la Asamblea General de las Naciones Unidas, en Nueva York, donde se presentó a votación. El 10 de septiembre de 1996 la Asamblea aprobó el texto con 158 votos a favor, tres en contra (el Reino de Bután, India y Libia) y cinco abstenciones (Cuba, la República de Mauricio, Siria, el Líbano y Tanzania).

El 24 de septiembre de 1996 se abrió el Tratado de Prohibición Completa de los Ensayos Nucleares para su firma. Ese mismo día las cinco potencias nucleares del mundo, así como otros 66 países más firmaron el tratado.

## CTBT (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty) en la actualidad.

El Tratado de Prohibición Completa de los Ensayos Nucleares (CTBT) prohíbe las explosiones nucleares por todo el mundo, en todas partes: en la superficie de la Tierra, en la atmósfera, bajo el agua y bajo tierra. Esto hace que sea muy difícil para los países, desarrollar bombas nucleares por primera vez, o para los países que ya cuentan con dicho armamento, hacer bombas más potentes. También evita el enorme daño causado por la radiactividad de las explosiones nucleares a las personas, animales, plantas y al medio ambiente.

Tres países han roto la moratoria de hecho y probado armas nucleares desde 1996: India y Pakistán en 1998, y la República Popular Democrática de Corea en 2006, 2009 y 2013.

Ciento ochenta y tres países han firmado el Tratado, de los cuales 163 también lo han ratificado (a partir de septiembre de 2014), incluyendo tres de los Estados nucleares: Francia, la Federación Rusa y el Reino Unido. Pero 44 países poseedores de tecnología nuclear deben firmar y ratificar antes de que el CTBT entre en vigor. De éstos, ocho aún faltan: China, Egipto, India, Irán, Israel, Corea del Norte, Pakistán y los Estados Unidos. India, Corea del Norte y Pakistán aún tienen que firmar el tratado.

Dado que el Tratado aún no está en vigor, la organización se llama la Comisión Preparatoria de la Organización del Tratado de la Prohibición Completa de los Ensayos Nucleares, (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization; CTBTO). Fue

fundada en 1996, cuenta con más de 260 personas de más de 70 países y tiene su sede en Viena, Austria. Está encabezada por el Secretario Ejecutivo, Lassina Zerbo, de Burkina Faso. Las principales funciones del CTBTO son la promoción del Tratado y la construcción del régimen de verificación para que esté en funcionamiento cuando el Tratado entre en vigor. El presupuesto anual es de alrededor de 130 millones de dólares estadounidenses.

El Tratado tiene un régimen único y completo de verificación para asegurarse de que toda explosión nuclear sea detectada. Este régimen consiste en tres pilares básicos:

- 1) El Sistema Internacional de Vigilancia (International Monitoring System; **IMS**) cuando esté terminado, constará de 337 instalaciones en todo el mundo para monitorear el planeta en busca de signos de explosiones nucleares.
- 2) Las inspecciones in situ pueden ser realizadas en ciertas zonas donde se tenga la sospecha de una explosión nuclear conforme con los datos del IMS. Los inspectores deben reunir pruebas sobre el terreno del lugar sospechoso. Dicha inspección sólo puede ser solicitada y aprobada por los Estados miembros una vez que el CTBT ha entrado en vigor. Un gran ejercicio de inspección in situ se llevó a cabo en septiembre de 2008 en Kazajstán y el próximo está previsto para 2014 en Jordania.
- 3) El Centro Internacional de Datos en la sede de la CTBTO en Viena recibe gigabytes de datos de las estaciones de monitoreo globales. Los datos se procesan y distribuyen a los Estados miembros de la CTBTO, tanto en forma cruda como los que ya fueron analizados. Cuando Corea del Norte probó en 2006, 2009 y 2013, los Estados miembros recibieron información sobre la ubicación, magnitud, tiempo y profundidad de las pruebas realizadas en cuestión de dos horas.

Es importante recalcar que la CTBTO no es sólo la consecuencia de la detonación de las bombas nucleares en Japón en 1945. En los años subsecuentes hubo un desmedido uso de bombas atómicas, los cuales llamaron “Ensayos Nucleares”.

## Ensayos Nucleares

Una prueba o ensayo nuclear se define como una explosión nuclear detonada, ya sea para fines militares o pacíficos. De los casi 2,050 explosiones nucleares detonadas entre 1945-1996, más de 150 fueron para fines pacíficos.

La historia de los ensayos nucleares comenzó el 16 de julio de 1945, en un sitio de prueba en el desierto de Alamogordo, Nuevo México, cuando los Estados Unidos explotó su primera bomba nuclear. Designado como el "lugar de la Trinidad", esta prueba inicial fue la culminación de años de investigación científica bajo la bandera del llamado "Proyecto Manhattan".

En las cinco décadas entre aquel fatídico día de 1945 y la apertura a la firma del Tratado de Prohibición Completa de los Ensayos Nucleares, (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty; **CTBT**) en 1996, más de 2000 pruebas nucleares se llevaron a cabo en todo el mundo.

- Los Estados Unidos llevó a cabo 1032 pruebas entre 1945 y 1992.
- La Unión Soviética llevó a cabo 715 pruebas entre 1949 y 1990.
- El Reino Unido llevó a cabo 45 pruebas entre 1952 y 1991.
- Francia llevó a cabo 210 pruebas entre 1960 y 1996.
- China llevó a cabo 45 pruebas entre 1964 y 1996.

Después de que el CTBT se abrió a la firma en septiembre de 1996, se han realizado una media docena de pruebas nucleares:

- India realizó dos pruebas en 1998 (la India también había realizado una llamada explosión nuclear pacífica en 1974.)
- Pakistán llevó a cabo dos pruebas en 1998.
- La República Popular Democrática de Corea anunció que había realizado un ensayo nuclear en 2006, una en 2009 y otra vez en 2013.

## **¿Por qué hacer ensayos nucleares?**

El propósito de la prueba nuclear con fines militares es multifacético. Desde un punto de vista técnico, las pruebas nucleares proporciona información sobre qué tan bien funcionan las armas nucleares, cómo se comportan en diversas condiciones y cómo estructuras adyacentes reaccionan a las explosiones nucleares. Sin embargo, también existe el aspecto político: es decir, la importancia de hacer una declaración política de la preeminencia nacional, científica y militar.

## TIPOS DE PRUEBAS DE ARMAS NUCLEARES

Las explosiones nucleares se han detonado en todos los ambientes: en la tierra, bajo tierra y bajo el agua. Las bombas se han detonado en la parte superior de torres, suspendidos de globos, en la superficie de la tierra, bajo el agua hasta una profundidad de 600 metros, bajo tierra a profundidades de más de 2,400 metros y en túneles horizontales. Otras bombas nucleares han sido lanzadas por los aviones y disparadas por cohetes a altitudes de más de 500 kilómetros.

### ***Pruebas atmosféricas***

Las pruebas atmosféricas se refieren a las explosiones que tienen lugar en la atmósfera.

En total, de las más de 2000 explosiones nucleares detonadas en todo el mundo entre el 16 de julio 1945 (Estados Unidos) y 29 de julio 1996 (China), el 25% o más de 500 bombas explotaron en la atmósfera: más de 200 de los Estados Unidos, más de 200 por el Unión Soviética, alrededor del 20 por Gran Bretaña, alrededor del 50 por Francia y más del 20 por China.

La preocupación internacional por la lluvia radiactiva resultante de pruebas atmosféricas se intensificó a mediados de la década de 1950. En marzo de 1954, los Estados Unidos probó su bomba de hidrógeno “Castillo Bravo” en Islas Marshall del Pacífico. La prueba Bravo creó el peor desastre radiológico en la historia de las pruebas de los Estados

Unidos. Por accidente, los civiles locales en las Islas Marshall, los militares estadounidenses estacionados en Rongrik, y el barco pesquero japonés Lucky Dragon, estaban contaminados a consecuencia de dicho ensayo nuclear.

Las pruebas atmosféricas fueron prohibidas por el Tratado de Prohibición Parcial de los Ensayos Nucleares 1963. Las negociaciones se dieron, respondiendo en gran medida a la grave preocupación de la comunidad internacional sobre la lluvia radiactiva resultante de pruebas atmosféricas. Los Estados Unidos, la Unión Soviética y el Reino Unido se convirtieron en Estados Parte en el Tratado; Francia y China no lo hicieron. Francia llevó a cabo su última prueba atmosférica en 1974, China en 1980.

### ***Pruebas nucleares a gran altitud***

Alrededor de 20 pruebas nucleares se llevaron a cabo por los Estados Unidos y la Unión Soviética en altitudes elevadas entre 1958 y 1962. El objetivo principal de estos ensayos, detonados a alturas entre 40 y 540 kilómetros fue determinar la viabilidad de las armas nucleares como defensa de misiles o armas anti-satélite y antibalísticos. La mayor prueba de este tipo, se llevó a cabo por los Estados Unidos. La llamada “Starfish Prime”, prueba de 1,4 megatones en 1962, dañó y destruyó varios de los satélites en órbita en ese momento y originó cortes de energía muy extendidos en el suelo. Las pruebas nucleares a gran altura fueron igualmente prohibidas por el Tratado de Prohibición Parcial de los Ensayos Nucleares de 1963, así como por el Tratado de 1967.

### ***Pruebas submarinas***

Las pruebas submarinas se refieren a las explosiones que tienen lugar bajo el agua o cerca de la superficie del agua. Se han realizado relativamente pocas pruebas submarinas. La primera prueba nuclear bajo el agua. La prueba llamada 'Panadero' se llevó a cabo por Estados Unidos en 1946 en sus polígonos de prueba del Pacífico en las Islas Marshall con el propósito de evaluar los efectos de las armas nucleares que se utilizan contra los buques de guerra. Más tarde, en 1955, la “Operación Wigman” de los Estados Unidos se llevó a cabo; una sola prueba nuclear bajo el agua a una

profundidad de 600 m para determinar la vulnerabilidad de los submarinos a las explosiones nucleares.

Explosiones nucleares bajo el agua pero cerca de la superficie pueden dispersar grandes cantidades de agua radiactiva y vapores contaminantes a barcos, estructuras e individuos cercanos.

Las pruebas nucleares bajo el agua fueron prohibidas por el Tratado de Prohibición Parcial de los Ensayos Nucleares en 1963.

### ***Los ensayos subterráneos***

Los ensayos subterráneos se refieren a las explosiones nucleares que se detonaron a diferentes profundidades bajo la superficie de la tierra. Alrededor del 75% de todas las explosiones nucleares detonadas durante la Guerra Fría (1945-1989); es decir, más de 800 de todas las pruebas realizadas por los Estados Unidos y cerca de 500 de todas las pruebas realizadas por la Unión Soviética.

Cuando la explosión está totalmente contenida, las pruebas nucleares subterráneas emiten consecuencias insignificantes en comparación con las pruebas atmosféricas. Sin embargo, si las pruebas nucleares subterráneas son cercanas a la superficie, pueden producir considerables restos radiactivos. Los ensayos subterráneos suelen ser evidentes a través de la actividad sísmica relacionada con el rendimiento del dispositivo nuclear.

Los ensayos nucleares subterráneos fueron prohibidos por el Tratado de Prohibición Completa de los Ensayos Nucleares de 1996 (CTBT), que prohíbe todas las explosiones nucleares en cualquier lugar, por cualquier persona.

### **EFFECTOS DE LOS ENSAYOS NUCLEARES**

Se estimó que el rendimiento total de todas las pruebas nucleares llevadas a cabo entre 1945 y 1980 fue de 510 megatoneladas (Mt). Las pruebas atmosféricas solo representaron 428 toneladas, equivalente a más de 29,000 bombas del tamaño de la detonada en Hiroshima.



La cantidad de radiactividad generada por una explosión nuclear puede variar considerablemente dependiendo de un gran número de factores. Estos incluyen el tamaño del arma y la ubicación de la ráfaga de la explosión. Una explosión en la tierra se espera que genere más polvo y otras materias de partículas radiactivas que una ráfaga de aire. La dispersión de material radiactivo también depende de las condiciones meteorológicas.

### ***Grandes cantidades de radionúclidos dispersos en la atmósfera***

El Informe del Comité Científico de las Naciones Unidas sobre los Efectos de las Radiaciones Atómicas a la Asamblea General de 2000, declara que:

"La principal contribución hecha por el hombre a la exposición de la población mundial [de radiación] ha venido de los ensayos de armas nucleares en la atmósfera, de 1945 a 1980. Cada prueba nuclear resultó en la liberación incontrolada en el medio ambiente de cantidades sustanciales de materiales radiactivos, que fueron esparcidos en la atmósfera y depositados por todas partes en la superficie de la Tierra".

Antes de 1950, la consideración dada a los impactos en la salud de la dispersión mundial de radiactividad de los ensayos nucleares fue muy limitada. Las protestas públicas en la década de 1950 y las preocupaciones sobre el radionúclido estroncio-90 y su efecto en la leche materna y dientes de los bebés fueron fundamentales en la conclusión del Tratado de Prohibición Parcial de los Ensayos (Partial Test-Ban Treaty; **PTBT**) en 1963. El PTBT prohibió los ensayos nucleares en la atmósfera, y debajo del agua, pero no bajo tierra, y fue firmado por los Estados Unidos, la Unión Soviética y el Reino Unido.

Aunque los ensayos subterráneos mitigaron el problema de las dosis de radiación de radionúclidos de vida corta como el yodo-131, grandes cantidades de plutonio, yodo-129 y cesio-135 fueron puestos en libertad bajo tierra. Además, la exposición se producía más allá del sitio de la prueba si los gases radioactivos eran filtrados o ventilados de manera natural.

Durante el siglo pasado, se ha producido una acumulación gradual de conocimientos acerca de los peligros de la radioactividad. Se reconoció pronto que la exposición a una dosis de radiación suficiente podría causar lesiones en órganos internos, así como a la piel y los ojos.

Según el Informe en el año 2000 del Comité Científico de las Naciones Unidas sobre los Efectos de las Radiaciones Atómicas a la Asamblea General de la ONU, exposición a la radiación puede dañar las células vivas, matando a algunas y modificando otras. La destrucción de un número suficiente de células causa daño perceptible en órganos que pueden resultar en la muerte. Si las células alteradas no se reparan, la modificación resultante se transmite a otras células y con el tiempo puede conducir al cáncer. Células modificadas que transmiten información hereditaria a la descendencia del individuo expuesto podrían causar trastornos hereditarios. La vegetación también puede contaminarse cuando la lluvia se deposita directamente sobre las superficies externas de las plantas y se absorbe a través de las raíces. Además, las personas pueden estar expuestas al comer carne y leche de animales que pastan en la vegetación contaminada.

### ***Los estudios revelan vínculo entre los ensayos de armas nucleares y el cáncer***

La página web de la Sociedad Americana del Cáncer, explica cómo la radiación ionizante, que se refiere a varios tipos de partículas y rayos emitidos por materiales radiactivos, es una de las pocas sustancias cancerígenas científicamente probados en seres humanos. Exposición a la radiación ha sido asociada con la mayoría de formas de leucemia, así como el cáncer de la tiroides, pulmón y mama. El tiempo que puede transcurrir entre la exposición a la radiación y el desarrollo del cáncer puede ser cualquier cosa entre 10 y 40 años. Los grados de exposición considerados como tolerables en la década de 1950 son ahora reconocidos internacionalmente como inseguros.

Un artículo en el volumen 94 de American Scientist llamado “Lluvia radiactiva de ensayos con armas nucleares y riesgos del cáncer” afirma que una serie de estudios de muestras biológicas (incluyendo los huesos, las glándulas tiroides y otros tejidos)

proporcionan cada vez más pruebas de que los radionúclidos asociados con la lluvia radiactiva están implicados en desarrollo de muchos tipos de cánceres.

Es difícil evaluar el número de muertes que podrían ser atribuidos a la exposición a la radiación de las pruebas nucleares. Algunos estudios y evaluaciones, incluida una evaluación por Arjun Makhijani<sup>11</sup> sobre los efectos en la salud de los ensayos de armas nucleares, estiman que las muertes por cáncer debido a las dosis de radiación a nivel mundial de los programas de pruebas nucleares atmosféricas realizadas por Estados Unidos, la Unión Soviética, Gran Bretaña, Francia y China son alrededor de cientos de miles de personas.

Un estudio realizado en 1991 por la Asociación Internacional de Médicos para la Prevención de la Guerra Nuclear (International Physicians for the Prevention of Nuclear War; **IPPNW**) estima que la radiación y los materiales radiactivos de pruebas atmosféricas recibidas por las personas hasta el año 2000 podría ser la causa de 430,000 muertes por cáncer. El estudio predice que alrededor de 2.4 millones de personas podrían eventualmente morir de cáncer como resultado de las pruebas atmosféricas.

Esta es una tabla con los principales elementos radiactivos y las principales consecuencias en los seres humanos expuestos a ellos.

<b>Radionúclidos</b>	<b>Vida media*</b>	<b>Riesgos para la salud</b>
Xenón (Xe)	6,7 horas	La inhalación de concentraciones excesivas puede provocar mareos, náuseas, vómitos, pérdida del conocimiento y muerte. A bajas concentraciones de oxígeno, la falta de consciencia y la muerte pueden ocurrir en cuestión de segundos, sin previo aviso.
		Se mueve rápidamente a través del cuerpo después de la ingestión y se concentra dentro de los huesos

<sup>11</sup> Arjun Makhijani es presidente del Instituto de Investigación de Energía y Medio Ambiente en Estados Unidos.

Americio-241 ( <sup>241</sup> Am)	432 años	durante un largo período de tiempo. Durante el almacenamiento, el americio decaerá lentamente y liberará partículas radiactivas causando alteración del material genético y cáncer de hueso.
Yodo-131 ( <sup>131</sup> I)	8 días	Cuando está presente en altos niveles en el medio ambiente gracias a la lluvia radioactiva, I-131 puede ser absorbido a través de alimentos contaminados. También se acumula en la glándula tiroidea, donde se puede destruir toda o parte de la tiroides. Puede producir cáncer de tiroides.
Cesio-137 ( <sup>137</sup> Cs)	30 años	Después de entrar en el cuerpo, el cesio se distribuye de manera bastante uniforme a través del cuerpo, con mayor concentración en el tejido muscular y la concentración más baja en los huesos. Puede causar la radiación gonadal y daño genético.
Krypton-85 ( <sup>85</sup> Kr)	10.76 años	La inhalación de concentraciones excesivas puede provocar mareos, náuseas, vómitos, pérdida del conocimiento y muerte.
Estroncio-90 ( <sup>90</sup> Sr)	28 años	Una pequeña cantidad de estroncio 90 se deposita en los huesos y la médula ósea, la sangre y los tejidos blandos cuando se ingiere. Puede causar cáncer de hueso, cáncer de los tejidos cercanos, y leucemia.
Plutonio-239 ( <sup>239</sup> Pu)	24.400 años	Se libera cuando se utiliza un arma de plutonio. La ingestión de incluso una cantidad minúscula es un peligro para la salud y puede causar cáncer de pulmón, hueso y cáncer de hígado. Las dosis más altas se encuentran en los pulmones, la médula ósea, superficies óseas, y el hígado.
Tritio ( <sup>3</sup> H)	12 años	Es de muy fácil ingestión. Se puede inhalar como gas en el aire o se puede absorbe por la piel. Entra en tejidos blandos y órganos. La exposición a tritio

		aumenta el riesgo de desarrollar cáncer. La radiación beta emitida por el tritio puede causar cáncer de pulmón.
--	--	---

\* Es decir, cantidad de tiempo que tarda la mitad de la cantidad de un material radiactivo en descomponerse.

Es claro: el daño está hecho. Los números no mienten. Sin duda desde la mitad del siglo pasado se ha hecho un esfuerzo por mitigar y eliminar los ensayos nucleares y fomentar el desarme nuclear en todos los países del mundo, dicho esfuerzo, sin embargo, no ha sido suficiente. Es muy probable que los científicos creadores de la bomba nuclear jamás hayan imaginado las terribles consecuencias de su uso. Ahora cientos de miles de inocentes sufrimos las consecuencias.

La ciencia le ha dado a la humanidad una elevada calidad de vida, comparada con generaciones anteriores. Nos ha permitido también expandir nuestro conocimiento a niveles jamás antes imaginados. Pero así como ha traído cosas buenas, la ciencia juega un papel de doble filo y puede fungir un papel no muy positivo dentro de la humanidad. Un ejemplo muy claro son las armas nucleares. Puedo entender la situación en la segunda guerra mundial, donde la posesión de un arma nuclear significaba un elemento de protección, una seguridad. Ahora casi setenta años después estamos en una aferrada lucha contra el uso de algo que significaba una tranquilidad en aquellos años.

Hoy en día la aplicación de la química se podría decir está en todos lados. Desde el entender el origen del universo hasta los nuevos materiales utilizados en nuestros celulares. En los alimentos, los medicamentos, los materiales de construcción, la generación de energía. La química ha sido una parte fundamental del desarrollo tecnológico obtenido por las civilizaciones contemporáneas. Lamentablemente también ha jugado un papel determinante en el daño que le hemos hecho al planeta así como a otros seres humanos. Las personas con una formación científica referente a la química, hoy en día deben de tener extremo cuidado al uso que le dan a su conocimiento. Hay una ética inherente al obtener dicha formación. El espectro que abarca la aplicación de la química hoy en día es inmenso.

Teniendo en cuenta el enorme daño causado por los ensayos nucleares en la última mitad del siglo pasado, considero de vital importancia la inclusión de personas, como un ingeniero químico, para ponerle fin de una vez por todas al uso de las armas nucleares. Teniendo en cuenta la inmensa aplicación del conocimiento de un ingeniero químico, en el siguiente capítulo analizaré cuál es su potencial dentro de la Organización del Tratado de la Prohibición Completa de los Ensayos Nucleares, (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization; **CTBTO**) y poder así contribuir a la inmensa tarea de que el tratado entre en vigor y poder evitar las terribles consecuencias del uso del armamento nuclear.

# Capítulo 3

# Estructura del CTBTO (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization)

La Comisión Preparatoria del Tratado de Prohibición Completa de los Ensayos Nucleares es un órgano conexo de la Organización de las Naciones Unidas y está dividida en 2 partes:

- Parte A - Formada por Diplomáticos y Políticos.
- Parte B – Formada por Expertos (Científicos principalmente)

La comisión preparatoria se divide en 4 secciones principales:

1. Sistema Internacional de Vigilancia (**I.M.S. - International Monitoring System**)
2. Centro Internacional de Datos (**I.D.C. - International Data Center**)
3. Inspecciones In Situ (**O.S.I. - On-site Inspections**)
4. Unidad administrativa

## **Sistema Internacional de Vigilancia (SIV)**

El Sistema Internacional de Vigilancia incluirá instalaciones para la vigilancia sismológica, la vigilancia de los radionúclidos con inclusión de laboratorios homologados, la vigilancia hidroacústica, la vigilancia infrasónica y los respectivos medios de comunicación y contará con el apoyo del Centro Internacional de Datos de la Secretaría Técnica de esta comisión.

Todas las instalaciones de vigilancia del Sistema Internacional de Vigilancia serán propiedad y su funcionamiento estará a cargo de los Estados que las acojan o que de otro modo sean responsables de ellas de conformidad con el Protocolo del Tratado de Prohibición Completa de los Ensayos Nucleares.



## **Centro Internacional de Datos (CID)**

El Centro Internacional de Datos recibirá, recopilará, tratará, analizará y archivará datos de las instalaciones del Sistema Internacional de Vigilancia, incluidos los resultados del análisis realizado en laboratorios homologados e informará al respecto.

## **Inspecciones In Situ**

Todo Estado Parte tiene derecho a solicitar una inspección in situ en el territorio de cualquier Estado Parte o en cualquier otro lugar sometido a la jurisdicción o control de éste, o en cualquier zona situada fuera de la jurisdicción o control de cualquier Estado.

El único objeto de una inspección in situ será aclarar si se ha realizado una explosión de ensayo de un arma nuclear o cualquier otra explosión nuclear, y en la medida de lo posible, reunir todos los hechos que puedan contribuir a identificar a cualquier posible infractor.

### *¿Cómo un Ingeniero Químico podría laborar en la Parte B de la organización?*

El Ingeniero Químico podría, por su formación científica, desarrollarse profesionalmente en el Sistema Internacional de Vigilancia (SIV). Considero importante explicar cuáles son las actividades del SIV para así poder comprender la posible incursión del ingeniero químico.

El Sistema Internacional de Vigilancia (SIV) es una red mundial de sensores para detectar las posibles explosiones nucleares y obtener pruebas de ellas. Una vez finalizada su instalación, el SIV constará de 321 estaciones de vigilancia y 16 laboratorios de radionúclidos en todo el mundo, instalados en los emplazamientos previstos en el Tratado. Muchos quedan en zonas remotas y de difícil acceso, lo que plantea grandes dificultades en los aspectos logísticos y de ingeniería.

El SIV utiliza tecnologías de vigilancia de tipo sismológico, hidroacústico e infrasónico (de “forma de onda”) para detectar la energía liberada por una explosión o un fenómeno de origen natural en el subsuelo, bajo el agua y en la atmósfera.

La vigilancia de radionúclidos utiliza muestreadores de aire para recoger macropartículas atmosféricas. Esas muestras se analizan luego en busca de posibles indicios de productos físicos creados por una explosión nuclear y presentes en la atmósfera. El análisis del contenido de radionúclidos puede confirmar si un fenómeno registrado por las otras tecnologías de vigilancia fue o no efectivamente una explosión nuclear. La capacidad de vigilancia de algunas estaciones se está potenciando con la adición de sistemas para detectar formas radiactivas de gases nobles que se producen en las reacciones nucleares.

## **Vigilancia Sismológica**

El objetivo de la vigilancia sismológica es detectar y localizar explosiones nucleares subterráneas. Los terremotos y otros fenómenos naturales y provocados por el hombre generan dos tipos principales de ondas sísmicas: ondas volumétricas y ondas superficiales. Las ondas volumétricas, más rápidas, viajan por el interior de la Tierra, mientras que las ondas superficiales, más lentas, se desplazan por su superficie. Durante el análisis se estudian ambos tipos de ondas a fin de recoger información específica sobre un determinado suceso.

La tecnología sismológica es muy eficaz para detectar una posible explosión nuclear, puesto que las ondas sísmicas se desplazan rápidamente y pueden registrarse segundos después del suceso. Los datos de las estaciones sismológicas del SIV proporcionan información sobre la localización de una posible explosión nuclear subterránea y ayudan a delimitar la zona para una inspección in situ.

Actualmente existen 170 estaciones – 50 primarias y 120 auxiliares en 76 países de todo el mundo.

## Vigilancia Infrasónica

Las ondas acústicas de muy baja frecuencia, inferior a la banda de frecuencias que puede detectar el oído humano, se denominan infrasónicas.

Hay diversas fuentes naturales y antropogénicas que producen infrasonidos. Las explosiones nucleares atmosféricas o subterráneas a poca profundidad pueden generar ondas infrasónicas de cuya detección se encarga la red de vigilancia infrasónica del SIV.

Las ondas infrasónicas causan pequeñísimas variaciones de la presión atmosférica que se miden mediante microbarómetros. Los infrasonidos tienen la peculiaridad de que pueden recorrer largas distancias con poca disipación, razón por la cual se utiliza la vigilancia infrasónica como técnica para detectar y localizar explosiones nucleares atmosféricas.

Además, como las explosiones nucleares subterráneas también generan infrasonidos, la utilización combinada de las tecnologías infrasónica y sismológica aumenta la capacidad del SIV para detectar posibles ensayos subterráneos.

Aunque las estaciones de vigilancia infrasónica del SIV están situadas en una amplia variedad de entornos, desde los bosques lluviosos ecuatoriales hasta las islas azotadas por el viento más remotas y las placas de hielo polares, los emplazamientos ideales para instalar una estación de vigilancia infrasónica son el interior de un denso bosque, donde estará protegida del viento, o lugares con el menor ruido de fondo posible, algo que permite mejorar la recepción de la señal.

Una estación (o un conjunto de detectores) de vigilancia infrasónica del SIV consta normalmente de varios elementos detectores de infrasonidos colocados en diferentes disposiciones geométricas, una estación meteorológica, un sistema para atenuar el ruido eólico, una instalación central de proceso y un sistema de comunicación para la transmisión de datos.

Existen 60 estaciones en 34 países en todo el mundo.

## Vigilancia Hidroacústica

Las explosiones nucleares bajo el agua, en la atmósfera cerca de la superficie del mar o bajo tierra cerca de las costas oceánicas generan ondas sonoras que la red de vigilancia hidroacústica puede detectar.

La vigilancia hidroacústica entraña el registro de señales que muestran alteraciones de la presión del agua generadas por ondas sonoras que viajan por el agua. Debido a la eficiencia con que el sonido se transmite a través del agua, es fácil detectar incluso señales relativamente pequeñas a distancias muy grandes. De ese modo, 11 estaciones bastan para vigilar todos los océanos.

Hay dos tipos de estaciones de vigilancia hidroacústica: las estaciones con hidrófonos submarinos y las estaciones de fase T situadas en islas y en la costa. Las estaciones de vigilancia hidrofónica, que conllevan la instalación de elementos subacuáticos, se cuentan entre las estaciones de vigilancia cuya construcción es más difícil y costosa. Las instalaciones han de funcionar durante un período de 20 a 25 años en entornos extraordinariamente hostiles, expuestas a temperaturas cercanas al punto de congelación, enormes presiones y la corrosión del medio salino.

El despliegue de los elementos subacuáticos de una estación de vigilancia hidrofónica, es decir, la colocación de los hidrófonos y el tendido de los cables, es una operación altamente compleja. Ese despliegue supone la contratación de buques, la realización de importantes trabajos subacuáticos y la utilización de materiales y equipo especialmente diseñados.

Por el momento hay 11 estaciones – 6 estaciones con hidrófonos submarinos y 5 estaciones terrestres de fase T – en 8 países de todo el mundo.

## **Vigilancia de Radionúclidos**

### ESTACION DE VIGILANCIA DE RADIONÚCLIDOS

La tecnología de vigilancia de radionúclidos complementa a las tres tecnologías basadas en la forma de onda que se emplean en el régimen de verificación del CTBT. Es la única tecnología que puede confirmar si una explosión detectada y localizada por las otras se debe a la realización de un ensayo nuclear. Proporciona los medios para señalar la “pistola humeante” cuya existencia daría prueba de una posible violación del Tratado.

Las estaciones de vigilancia de radionúclidos detectan la presencia en el aire de ese tipo de partículas. Cada estación consta de un sistema de recogida de muestras de aire, equipo de detección, computadoras y un sistema de comunicaciones. En el sistema de recogida de muestras de aire se hace pasar éste a través de un filtro que retiene la mayoría de las partículas que llegan a él. Esos filtros se examinan y los espectros de radiación gamma resultantes del examen se envían al CID en Viena para su ulterior análisis.

### SISTEMA DE DETECCION DE GASES NOBLES

Cuando el Tratado entre en vigor será necesario que las estaciones de vigilancia de radionúclidos cuenten, además, con la capacidad de detectar las formas radiactivas de gases nobles como el xenón y el argón. Para ello se han creado sistemas especiales de detección que se están instalando y sometiendo a ensayo en la red de vigilancia de radionúclidos antes de proceder a su integración en las operaciones habituales. La incorporación de esos sistemas reforzará la capacidad del SIV y será congruente con el enfoque avanzado que se aplica en la creación del sistema de verificación.

Al denominarlos “gases nobles” se hace hincapié en el hecho de que se trata de elementos químicos inertes y que raramente reaccionan con otros. Como sucede con otros elementos, los gases nobles están representados en la naturaleza por varios isótopos, algunos de los cuales son inestables y emiten radiación. Hay también isótopos

radiactivos de los gases nobles que no existen en la naturaleza y que únicamente pueden producirse con ocasión de reacciones nucleares.

En virtud de sus propiedades, hay cuatro isótopos del gas noble xenón que revisten especial interés para la detección de explosiones nucleares.

El xenón radiactivo procedente de una explosión nuclear subterránea bien contenida puede filtrarse por los estratos de roca, escapar a la atmósfera y ser detectado a miles de kilómetros de distancia.

Todos los sistemas de detección de gases nobles del SIV funcionan de forma similar. El aire se bombea a través de un dispositivo de purificación a base de carbón en el que se aísla el xenón. Se eliminan los contaminantes de diferentes clases, como polvo, vapor de agua y otros elementos químicos. El aire así purificado contiene altas concentraciones de xenón, tanto en sus formas estables como inestables (es decir, radiactivas). La radiactividad del xenón aislado y concentrado se mide y el espectro resultante se envía al CID para su ulterior análisis.

En México hay una estación certificada de este tipo. La estación de vigilancia de radionúclidos (para gases nobles), se encuentra en Guerrero Negro, Baja California (RN44).

## LABORATORIO DE RADIONUCLIDOS

Dieciséis laboratorios de radionúclidos, cada uno situado en un país diferente, prestan apoyo a la red de estaciones de vigilancia de radionúclidos del SIV. Esos laboratorios desempeñan un importante papel en cuanto a la corroboración de los resultados obtenidos por las estaciones del SIV, en particular para confirmar la presencia de productos derivados de la fisión o productos derivados de la activación, que serían indicadores de un ensayo nuclear. Además, contribuyen al control de la calidad de las mediciones de las estaciones y a la evaluación del funcionamiento de la red mediante el análisis periódico de muestras rutinarias procedentes de todas las estaciones del SIV homologadas.

Esos laboratorios de categoría mundial analizan también otros tipos de muestras para la Secretaría Técnica Provisional (STP), como las muestras recogidas durante el reconocimiento del emplazamiento o la homologación de una estación. La STP homologa los laboratorios de radionúclidos con arreglo a unos estrictos requisitos de análisis de espectros de rayos gamma. El proceso de homologación constituye una garantía de que los resultados facilitados por un laboratorio sean precisos y válidos. Esos laboratorios participan también en la prueba de idoneidad que anualmente organiza la STP.

Actualmente hay 80 estaciones y 16 laboratorios en 41 países de todo el mundo, con capacidad adicional de detección de gases nobles en 40 de las estaciones.

Pensando en la formación de un ingeniero químico se podría inferir que la opción más lógica para trabajar sería en la vigilancia de radionúclidos. Pero no hay que descartar los demás sistemas de vigilancia. Siendo cierto que el ingeniero químico estaría más familiarizado con el análisis de la presencia de los elementos químicos en la atmosfera, en el suelo o en el agua, la formación científica recibida podría darnos la posibilidad de poder desarrollarnos perfectamente en cualquiera de los demás tipos de vigilancia. La utilización de equipos de laboratorio así como la interpretación de los datos obtenidos son parte de nuestra preparación como ingenieros químicos.

## ¿Cómo coopera México con el CTBTO?

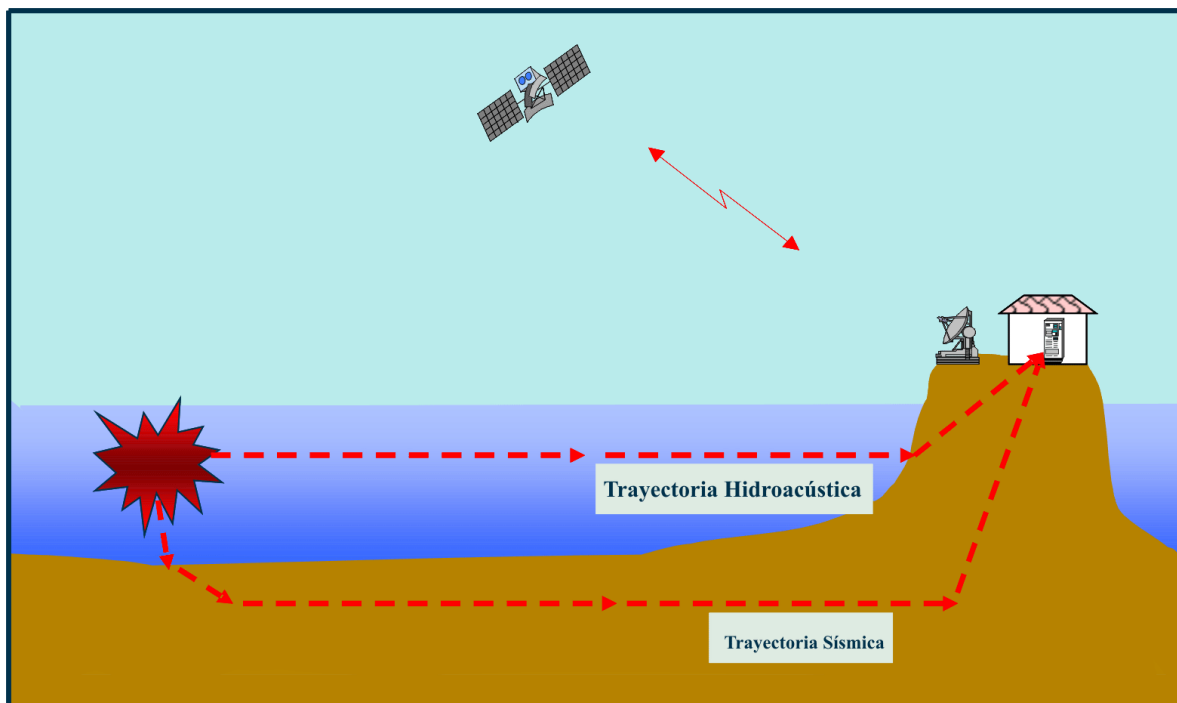
México firmó el Tratado para la Prohibición Completa de los Ensayos Nucleares (CTBT, por su siglas en inglés) el 24 de septiembre de 1996 y fue el país número 51 en ratificar el Tratado el 5 de octubre de 1999. Con esta ratificación México, a través del Servicio Sismológico Nacional (SSN), adquirió el compromiso de instalar y operar una estación hidroacústica (de fase T), la cual forma parte de la red de estaciones primarias del Sistema Internacional de Vigilancia (IMS) y se localiza en Isla Socorro. Adicionalmente mantiene y opera otras tres estaciones sísmicas que pertenecen a la Red Auxiliar del

IMS, las cuales se localizan en los estados de Oaxaca ("AS064"), Baja California Sur ("AS065") y Quintana Roo ("AS063").

## Estación Hidroacústica HA06

La estación hidroacústica HA06 es una estación de fase T, que como su nombre lo dice, tiene la finalidad de detectar un tipo de onda que se genera con un sismo que tiene origen en el piso oceánico. Las ondas sísmicas se convierten en hidroacústicas al tener contacto con el océano.

Las estaciones de fase T se localizan en islas, ya que el propósito de estas estaciones es el de detectar señales acústicas o hidroacústicas que se convierten nuevamente en señales sísmicas al momento de tener contacto con tierra firme.



\*Fuente: <http://www2.ssn.unam.mx:8080/website/jsp/CTBTO-socorro.jsp>



Las estaciones hidroacústicas han sido construidas en sitios escogidos cuidadosamente. Son de gran utilidad para diferenciar las ondas sísmicas generadas por sismos de aquéllas generadas por una explosión nuclear.

La estación que México tiene a su cargo es HA06, con coordenadas 18.7 Norte y 110.9 Oeste, en Isla Socorro, la isla de mayor extensión del Archipiélago de Revillagigedo. En la isla se encuentran tres estaciones: HA06N, HA06S y HA06E que conforman HA06 y se encuentran al Norte, Sur y Este de Isla Socorro, respectivamente.

Cada estación está compuesta por una caseta que resguarda al equipo de alimentación de energía y paneles solares BP380U y BP 3125, una bóveda donde está alojado el sismómetro (STS-2 Streckeisen en las estaciones Norte y Este y un GS-13 de Geotech Instruments en la estación Sur). Todas las estaciones cuentan con un digitizador Europa-T de Nanometrics y una antena que transmite las señales sísmicas, vía satélite, de forma continua a la estación central en el Servicio Sismológico Nacional y de ahí son enviadas al Centro Internacional de Datos (IDC en inglés) ubicado en Viena, Austria.

## **Estaciones de la Red Auxiliar del IMS, a cargo del SSN**

El Servicio Sismológico Nacional opera y mantiene tres estaciones que forman parte de la Red Auxiliar del IMS, las cuales son: "AS063", "AS064" y "AS065". Estas estaciones se localizan en: Tepich, Quintana Roo; Matías Romero, Oaxaca; y La Paz, Baja California Sur; respectivamente

Las casetas de las estaciones están especialmente diseñadas para minimizar el ruido y los cambios de temperatura en el interior, cuentan con doble pared y aislamiento de aire. En cada una de ellas se construyó un pilar sobre la roca, independiente de la estructura de la caseta, para instalar los sensores que, además, tienen una cubierta de aluminio forrada con material aislante para evitar inducciones eléctricas y aislar de la temperatura.

El equipo con que cuenta cada estación es un registrador Quanterra-Q330 con digitizador de 24 bits, un Sismómetro triaxial STS-2, el cual permiten registrar ondas

sísmicas en una amplia banda de frecuencias, con respuesta plana a la velocidad del suelo entre 0.01 a 30 Hz, y capacidad de registrar sismos en un amplio rango de magnitudes, desde sismos locales pequeños hasta sismos lejanos, sin problemas de saturación. También cuentan con un acelerómetro triaxial episensor que permite registrar las aceleraciones del suelo dentro de un amplio espectro de frecuencias, sin saturación de la señal para sismos grandes locales y regionales, lo cual permiten estimar con gran precisión la magnitud de sismos grandes que puedan ocurrir en el territorio nacional. Cada estación sísmica tiene una antena exterior Integra para la comunicación vía satélite.

No pongo en duda la importancia de los científicos en la Parte B del CTBTO, es la parte operativa, y sin ella, la organización no tendría los suficientes elementos para tomar decisiones. Sin embargo, en la Parte de A de la organización, formada por políticos y diplomáticos, es en donde la presencia de un ingeniero químico tendría más injerencia para los propósitos del Tratado. En muchas ocasiones, los políticos y diplomáticos involucrados carecen de una formación científica, lo cual puede traer como consecuencia un bajo criterio en la toma de decisiones al ignorar las consecuencias del uso del armamento nuclear. Es por eso que a continuación analizo las posibles acciones a realizar por un ingeniero químico y así pueda aplicar su conocimiento científico y utilizar su criterio en la Parte A del CTBTO.

### *¿Cómo un Ingeniero Químico podría laborar en la Parte A de la organización?*

Una de las opciones sería estudiar de manera paralela o subsecuente una carrera como Derecho o Relaciones Internacionales. Con cualquiera de estas dos opciones el Ingeniero Químico podría tener una preparación académica enfocándose en la formación diplomática.

Otra opción es lograr ser parte del Servicio Exterior Mexicano.

### ***¿Qué es el Servicio Exterior Mexicano (SEM)?***

De acuerdo con la Ley del Servicio Exterior Mexicano, artículo 1, el servicio exterior es el cuerpo permanente de funcionarios del Estado encargado de representarlo en el extranjero, responsable de ejecutar la política exterior de México, de conformidad con los principios normativos que establece la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

### ***¿Cómo se ingresa al SEM?***

El ingreso al SEM se realiza por oposición, mediante concursos públicos cuyas convocatorias se publican en el Diario Oficial de la Federación.

Para ingresar al servicio de carrera se requiere cumplir con los siguientes requisitos:

- I. Ser mexicano por nacimiento y no tener otra nacionalidad, en pleno ejercicio de sus derechos civiles y políticos. Los mexicanos por nacimiento a los que otro Estado considere como sus nacionales, deberán presentar el certificado de nacionalidad mexicana y el documento de renuncia de la otra nacionalidad
- II. Ser menores de 30 años de edad. En casos excepcionales, la Comisión de Personal podrá dispensar este requisito si a su juicio así lo amerita el perfil académico y profesional del aspirante;
- III. Tener buenos antecedentes;
- IV. Estar apto física y mentalmente para el desempeño de las funciones del Servicio Exterior
- V. No pertenecer al estado eclesiástico ni ser ministro de algún culto

Para ingresar a la rama diplomática-consular, es preciso contar por lo menos con el grado académico de licenciatura por una universidad o institución de enseñanza superior mexicana o extranjera, con reconocimiento de validez oficial.

Para el caso de la rama técnico-administrativa, será suficiente haber terminado la educación media superior y tener el dominio de un idioma extranjero de utilidad para la diplomacia, preferentemente el inglés.

Un Ingeniero Químico al formar parte del SEM, tendría la oportunidad de ingresar al Instituto Matías Romero.

El Instituto Matías Romero fue creado en 1974 con el propósito de formar y capacitar a los diplomáticos mexicanos. A más de treinta años de su establecimiento, se ha consolidado como una institución de excelencia y su presencia nacional e internacional se ha fortalecido. Los cursos de formación, capacitación y actualización se han dirigido, principalmente, a los diplomáticos mexicanos y a otros funcionarios de la Secretaría de Relaciones Exteriores. Mediante programas de cooperación internacional, también han tomado parte en cursos de otros países. La Secretaría de Relaciones Exteriores, por medio del Instituto atiende las demandas de cooperación en materia de formación diplomática de otras naciones.

El Instituto organiza e imparte cursos y diplomados sobre temas de actualidad de la política internacional, celebra conferencias y seminarios con la participación de especialistas nacionales y extranjeros, y realiza diversas actividades de difusión de la política exterior y las relaciones internacionales de México. En estas actividades participan académicos y funcionarios mexicanos interesados en los asuntos internacionales, así como el Cuerpo Diplomático acreditado en México.

Es importante recalcar que para poder gozar de la preparación del Instituto Matías Romero es necesario ser parte del SEM, ya que es uno de los requisitos. Al estar vinculado al SEM y al Instituto es más fácil considerar la participación de un Ingeniero Químico en la Parte A del CTBTO.

Será responsabilidad del Ingeniero Químico buscar los cursos y diplomados especializados o enfocados en materia que concierne a las actividades del CTBTO. Con la formación científica y diplomática adquirida mediante las opciones descritas anteriormente, el Ingeniero Químico sería un(a) excelente candidato(a) para representar a México en la sección diplomática y política del CTBTO. Su criterio y juicio formaría parte vital para la toma de decisiones, propuestas y resolución de conflictos con referencia a la prohibición de los ensayos nucleares a nivel global.

Desde 1996, en la puesta en marcha de la Comisión Preparatoria del CTBTO, con más de 250 personas de 70 países diferentes se ha generado un puente de trabajo entre muchas disciplinas. Todas estas personas, más todos los colaboradores y asesores que han pasado por esta organización han tenido la firme convicción que su trabajo es relevante para la sociedad contemporánea; ¡y vaya que lo es! Queda claro el enorme daño que se le ha hecho no solo al medio ambiente, sino también a cientos de miles de personas a consecuencia de los ensayos nucleares. Todos los que logremos entender el peligro del uso de las armas nucleares tenemos la responsabilidad de crear conciencia, de alzar la voz y mostrar nuestra inconformidad y preocupación por ello.

## Análisis y conclusiones generales

Al empezar este trabajo, debo confesar, me resultaba muy limitada la cabida de un ingeniero químico en esta inmensa labor del desarme nuclear. Nunca esperé encontrar semejante gama de posibilidades dentro de las actividades del tratado y las acciones en general del CTBTO. Fue asombroso notar la transformación de los primeros estudios de la química nuclear, hasta convertirse en una de las peores amenazas para la humanidad.

Haciendo referencia al título de este trabajo; ¿cuál es el papel del ingeniero químico en la prohibición de las armas nucleares en el mundo? Es triste, pero hay que reconocerlo, la respuesta es que el papel del ingeniero químico mexicano es NULO. Así es, en el CTBTO no hay un solo ingeniero químico mexicano. ¿Por qué?

Este trabajo es una muestra más de la versatilidad profesional que un estudiante de la carrera de Ingeniería Química de la Facultad de Química de la U.N.A.M. posee. El campo laboral del ingeniero químico es inmenso. La adaptabilidad y aplicación de sus conocimientos son altamente valorados hoy en día por un sinnúmero de empresas. Entendiendo la relevancia de la prohibición completa de los ensayos nucleares, ¿por qué no hay ingenieros químicos mexicanos trabajando para ello?

Quizá México, al no poseer este tipo de armas, no le ha dado la importancia o relevancia a incrementar los esfuerzos para el desarme nuclear mundial. Quizá, el ignorar las terribles consecuencias de los ensayos nucleares, ha provocado que los mexicanos no hayan salido a las calles a manifestarse en contra del uso de dicho armamento. México, no resalta en la historia universal por ser partícipe de las grandes guerras del siglo XX. Tampoco destaca por su tecnología bélica. Pero sí podría destacarse por sus esfuerzos por alcanzar la paz mundial. Al estar dentro de las primeras 20 economías del mundo, México podría jugar un papel más relevante dentro de esta difícil tarea; el desarme nuclear a nivel global. Y considero que el ingeniero químico podría tener un papel preponderante en dicha tarea.

Sería fácil asociar al ingeniero químico con la parte B de la asociación, donde la actividad científica es el pan de cada día. No cabe duda que con la preparación recibida, el ingeniero químico podría desempeñarse a la perfección en todas las estaciones de vigilancia del CTBTO. El perfil del ingeniero químico desarrollado en la Facultad de Química de la U.N.A.M abarca un sinnúmero de variables para su desarrollo profesional. Supongamos que se le asigna a un ingeniero químico el proyecto de diseñar, montar y operar una planta de producción de jabón en polvo por ejemplo. Desde los inicios del proyecto, el ingeniero químico fungiría como si fuera el director de una orquesta. En el diseño del proceso, el ingeniero químico debe pensar en cuál es la posición geográfica más óptima para colocar la planta de producción, en cuestión de qué climas benefician o perjudican las reacciones del proceso, la obtención de materias primas, etc. Una vez encontrado el lugar más adecuado, se tienen que llevar a cabo estudios del terreno y es donde su papel de director de orquesta comienza. El ingeniero químico tendrá que codearse con ingenieros civiles, ingenieros eléctricos, ingenieros mecánicos, arquitectos, entre muchos otros profesionales para traer a la realidad el diseño teórico de la planta de producción. Todo este trabajo en conjunto, con el objetivo de hacer el proceso más eficiente, con el menos gasto posible. El dinero funge como una de las variables más importantes dentro del desarrollo profesional de cualquier ingeniero; producir más, gastando menos. ¿Y qué es lo que nos distingue a los ingenieros químicos de los demás ingenieros? El conocimiento del proceso; es decir saber en todo momento qué es lo que está pasando dentro de los tubos, de los reactores, de los intercambiadores de calor, etc.

Me tome la libertad de escribir el ejemplo anterior con la intención de explicar un poco los alcances que un ingeniero químico puede tener en su desarrollo profesional. Para que el lector entienda el gran número de variables que un ingeniero químico debe considerar al ejercer su profesión. Otras variables importantes como la seguridad de los trabajadores, el cuidado del ambiente y la implementación de tecnologías sustentables deben ser consideradas en el ejercicio profesional de todo ingeniero químico. Este amplio espectro de variables a manejar son las que un ingeniero químico podría enfrentarse al trabajar en el CTBTO al lidiar con culturas, opiniones, costumbres y maneras de pensar diferentes a la propia.

Como lo mencioné anteriormente, la participación del ingeniero químico en la parte científica del CTBTO es logable, sin embargo, en mi opinión, los esfuerzos deberían concentrarse en que su participación sea en la parte A de la organización. Teniendo en cuenta variables económicas, de salud, ambientales, políticas, diplomáticas, entre muchas otras, el ingeniero químico podría fungir un papel decisivo en la puesta en marcha del CTBTO. Tal vez el ingeniero químico no sea precisamente el que esté en las votaciones de la organización, pero podría ser el que asesore de manera correcta a quien emite el voto.

Hay un factor determinante para que no haya ningún ingeniero químico mexicano laborando para el CTBTO: la falta de conciencia. Y esta falta de conciencia se debe a un círculo vicioso, donde todos los involucrados tienen parte de la culpa. Existe una ignorancia y una falta de interés muy grande por parte de los estudiantes. No podemos dejar a un lado también a las diferentes instituciones educativas que no proporcionan la información adecuada al estudiante acerca de las posibilidades de actuar en este campo. Y tampoco podemos olvidar que el gobierno no ha hecho el esfuerzo suficiente para otorgar una asesoría especializada a los políticos y diplomáticos que tomaran las decisiones referentes al desarme nuclear. Pero aún estamos a tiempo de revertir esa situación y convertir dicho círculo vicioso en un círculo virtuoso. Es posible convertir esa carencia en una herramienta con un abanico enorme de beneficios tanto para los que quieran involucrarse, a nivel personal y profesional, beneficios para la Universidad Nacional Autónoma de México, y por supuesto enormes beneficios para el país. Basta con imaginar la posibilidad de trabajar con profesionales de 70 países diferentes para darse una idea de lo enriquecedor que la experiencia podría llegar a ser. El esfuerzo de hacer conciencia debe llevarse a cabo a nivel estudiantil y también a niveles de instituciones educativas y gubernamentales. México podría sumarse a este enorme trabajo internacional, donde sí, el principal objetivo es el desarme nuclear en todos los países, pero mientras se lleva a cabo dicho propósito, el avance científico nacional puede incrementarse de manera sustancial al trabajar con profesionales de otros países, implementando programas educativos en varias universidades de otros continentes, encausando todo ese conocimiento para transformar lo que significa una amenaza actual, en la construcción de un mundo nuevo. El ingeniero químico se encuentra en una posición privilegiada, tiene todo el potencial para consecuentemente



incrementar el conocimiento científico del país y ayudar activamente en el desarme nuclear a nivel global.

Quisiera concluir este trabajo con una propuesta. Una propuesta que podría mejorar en gran medida la incursión de cualquier estudiante en la ferviente tarea de la prohibición de las armas nucleares en el mundo. Propongo un curso, como materia optativa por ejemplo, principalmente dirigida a Químicos e Ingenieros Químicos, y que funja como orientación de profesionales hacia la colaboración con el CTBTO directamente. ¿Qué tendría el curso? Quien lo tome sabrá qué es exactamente el CTBTO, qué pruebas y cómo se controlan las diferentes actividades de la organización, cómo se garantizan los resultados de los ejercicios, qué equipo se emplea en las estaciones de vigilancia, etc.

El curso que propongo, no necesariamente tiene que ser focalizado en el CTBTO. Puede tener otros alcances. ¿Por qué no pensar en un curso que los mismos egresados de la facultad de química pudieran tener acceso una vez terminada la carrera? El objetivo es buscar a participación de egresados y estudiantes en “Cuerpos de Paz”. Otorgarle la información adecuada a quien decida tomar el curso de qué necesita saber o hacer para poder tener un rol mucho más activo en diversas organizaciones internacionales. Por qué no pensar en un programa de intercambios con otras universidades del mundo que tengan el interés en dar una formación específica a ciertos estudiantes. Considero de vital importancia empezar a generar cierto tipo de vínculos internacionales a través de cursos como el que propongo, pueden ser un parteaguas para fomentar una cooperación mayor entre dos instituciones educativas, organizaciones internacionales y por qué no, llegar a tener una mayor injerencia en las relaciones científicas y económicas de muchos países en el mundo.

¿Dónde estaremos en 50 años? Es difícil responder esa pregunta, pero hoy tenemos la oportunidad de decidir si queremos seguir siendo simples observadores, o queremos estar entre quienes ponen los cimientos de los pilares del nuevo mundo.

# Anexo 1

## Tratado de Prohibición Completa de los Ensayos Nucleares

El Tratado de Prohibición Completa de los Ensayos Nucleares prohíbe todas las explosiones nucleares en nuestro planeta ya sea para fines militares o para fines pacíficos.

Se compone de un preámbulo, 17 artículos, dos anexos y un Protocolo con dos anexos.

### Resumen

**Artículo I** - Se estipulan las obligaciones básicas del tratado. Prohíbe a los Estados Parte (Estados miembros del tratado) llevar a cabo cualquier tipo de explosión nuclear. También se prohíbe cualquier estímulo o la participación en la realización de cualquier explosión nuclear.

**Artículo II** - Explica el establecimiento de la Organización del Tratado de Prohibición Completa de los Ensayos Nucleares con sede en Viena, Austria. Asegurándose de la implementación del presente tratado así como también ofrecer foros de consulta y de cooperación.

**Artículo III** - Se centra en las medidas nacionales de aplicación.

**Artículo IV** - Explica con detalle el régimen mundial de verificación para vigilar el cumplimiento de las disposiciones del Tratado. El régimen estará compuesto por una red mundial de estaciones de vigilancia (el Sistema Internacional de Vigilancia), un Centro Internacional de Datos en Viena, un proceso de consulta y aclaración, inspecciones in situ, y las medidas de fomento de la confianza.

**Artículo V** - Se esbozan las medidas para remediar una situación que contravenga las disposiciones del Tratado de Prohibición Completa de los Ensayos Nucleares y para asegurar el cumplimiento del mismo.

**Artículo VI** – Trata de la solución de los conflictos que puedan surgir sobre la aplicación o la interpretación del Tratado.

**Artículo VII** - Se refiere a las enmiendas del Tratado. .

**Artículo VIII** - Estipula cuando una revisión del Tratado se llevará a cabo después de su entrada en vigor.

**Artículo IX** - Afirma que el Tratado es de duración ilimitada.

**Artículo X** - Se refiere a la situación del Protocolo y los anexos.

**Artículo XI** - Se refiere a la firma del Tratado.

**Artículo XII** - Se refiere a la ratificación del Tratado.

**Artículo XIII** - Se trata de la adhesión al Tratado.

**Artículo XIV** - Se trata de que el Tratado entre en vigor. Esto se llevará a cabo 180 días después de los 44 Estados enumerados en el anexo 2 del Tratado hayan ratificado.

**Artículo XV** - Especifica que el Tratado no estarán sujetos a reservas.

**Artículo XVI** - Se refiere a que el Depositario del Tratado.

**Artículo XVII** - Se refiere a la autenticidad de árabe, chino, textos de los Tratados en inglés, francés, ruso y español.

**Anexo 1** - Se enumeran los Estados por regiones geográficas al final de las elecciones al Consejo Ejecutivo.

**Anexo 2** - Se enumeran los 44 Estados que deben ratificar el Tratado para que entre en vigor.

**Protocolo, Parte I** - Describen las funciones del Sistema Internacional de Vigilancia (SIV) y el Centro Internacional de Datos (CID).

**Protocolo, Parte II** - Establece los procedimientos para las inspecciones in situ.

**Protocolo, Parte III** - Se refiere a las medidas de fomento de la confianza.

**Protocolo, Anexo 1** - Se enumeran los servicios que componen la red del SIV.

**Protocolo, Anexo 2** - Se enumeran los parámetros de caracterización para la detección de eventos estándar del CID.

# Anexo 2

A continuación presento de manera textual los párrafos, secciones y subsecciones del tratado donde se encuentran las actividades que considero pueden ser realizadas por un Ingeniero Químico:

## **Artículo II - LA ORGANIZACIÓN**

### **C. EL PODER EJECUTIVO DEL CONSEJO**

#### ***(Composición, procedimientos y toma de decisiones)***

*29. Los miembros del Consejo Ejecutivo serán elegidos por la Conferencia. En este sentido, cada región geográfica designará Estados Partes de esa región para la elección de los miembros del Consejo Ejecutivo de la siguiente manera:*

*(a) Al menos un tercio de los lugares asignados a cada región geográfica será cubierta, teniendo en cuenta políticas e intereses de seguridad de los Estados Partes de esa región designados sobre la base de las capacidades nucleares pertinentes para el Tratado según lo determinado por los datos internacionales, así como la totalidad o cualquiera de los siguientes criterios indicativos en el orden de prioridad determinado por cada región:*

- (i) Número de control de las instalaciones del Sistema Internacional de Vigilancia,*
- (ii) conocimientos y experiencia en tecnología de monitoreo, y*
- (iii) la contribución al presupuesto anual de la Organización,*

## **D. LA SECRETARÍA TÉCNICA**

43. *Las funciones de la Secretaría Técnica con respecto a la verificación del cumplimiento de este Tratado, de conformidad con el artículo IV y el Protocolo, entre otras:*

*(a) Ser responsable de supervisar y coordinar el funcionamiento del Sistema Internacional de Vigilancia,*

*(b) Funcionamiento del Centro Internacional de Datos,*

*(c) recibir rutinariamente, procesar, analizar e informar sobre los datos del Sistema de Monitoreo Internacional,*

*(d) Prestar asistencia técnica en, y el apoyo a la instalación y operación de estaciones de vigilancia;*

*(e) Asistir al Consejo Ejecutivo para facilitar las consultas y las aclaraciones entre los Estados Partes;*

*(f) Recibir solicitudes de inspecciones in situ y tramitarlas, facilitar la consideración del Consejo Ejecutivo de esas solicitudes, llevar a cabo los preparativos, y prestar apoyo técnico durante la realización de inspecciones in situ, e informar al Consejo Ejecutivo;*

*(g) Negociar acuerdos o arreglos con los Estados Partes, otros Estados y organizaciones internacionales y concluyendo, con previa aprobación por el Consejo Ejecutivo, cualquiera de tales acuerdos o arreglos relativos a las actividades de verificación con los Estados Partes o de otros Estados;*

*(h) Prestar asistencia a los Estados Partes a través de sus Autoridades Nacionales en otras cuestiones de verificación en virtud del presente Tratado*

## **Artículo IV – VERIFICACIÓN**

### **A. DISPOSICIONES GENERALES**

1. Con el fin de verificar el cumplimiento de este Tratado, un régimen de verificación se establecerá. Constará de los siguientes elementos:

(a) Un Sistema Internacional de Vigilancia,

(b) Consultas y aclaraciones;

(c) Las inspecciones in situ, y

(d) Medidas de fomento de la confianza.

### **(Responsabilidades de verificación de la Secretaría Técnica)**

14. En el desempeño de sus responsabilidades en el área de verificación especificados en el presente Tratado y del Protocolo, en cooperación con los Estados Partes, la Secretaría Técnica deberá para cumplir el propósito de este Tratado:

(a) Disponer lo necesario para recibir y distribuir datos y productos de información de interés para la verificación del presente Tratado de conformidad con sus disposiciones, y mantener una infraestructura mundial de comunicaciones apropiada para esta tarea,

(b) de forma rutinaria a través de su Centro Internacional de Datos, que, en principio, será el punto focal dentro de la Secretaría Técnica el almacenamiento de datos y los datos procesamiento, esto incluye:

(i) Recepción y tramitación de solicitudes de datos del Sistema Internacional de Vigilancia,

(ii) Recibir los datos, según proceda, resultantes del proceso de consultas y aclaraciones, de inspecciones in situ, y de las medidas de fomento de la confianza, y

*(iii) Recibir otros datos pertinentes de los Estados Partes y las organizaciones internacionales, de acuerdo con el presente Tratado y el Protocolo;*

*(c) Supervisar, coordinar y garantizar el funcionamiento del Sistema Internacional de Vigilancia y de sus componentes, y del Centro Internacional de Datos, conforme a los manuales de operaciones pertinentes,*

*(d) de forma rutinaria procesar, analizar e informar sobre los datos del Sistema de Monitoreo Internacional de acuerdo con los procedimientos acordados con el fin de permitir la verificación internacional eficaz del presente Tratado y de contribuir a la pronta resolución de los problemas de cumplimiento,*

*(e) Hacer todos los datos disponibles, tanto crudos como procesados, y todos los productos de información, a todos los Estados Partes, cada Estado Parte se hará responsable por el uso de Sistema de Monitoreo de Datos de acuerdo con el artículo II, apartado 7, y con los párrafos 8 y 13 del presente artículo.*

*(f) Proporcionar a todos los Estados Partes acceso equitativo, abierto, conveniente y oportuno a todos los datos almacenados;*

*(g) Almacenar todos los datos, tanto crudos como procesados, productos y presentación de informes;*

*(h) Coordinar y facilitar las solicitudes de datos adicionales de la Sistema Internacional de Vigilancia;*

*(i) Coordinar las solicitudes de datos adicionales de un Estado Parte a otro Estado Parte;*

*(j) Prestar asistencia técnica y apoyo para la instalación y operación de instalaciones de vigilancia y los medios de comunicación respectivos, cuando esa ayuda y el apoyo son requeridos por el Estado en cuestión;*

*(k) Poner a disposición de cualquier Estado Parte, con previa solicitud, las técnicas utilizadas por la Secretaría Técnica y su Centro Internacional de Datos para*



*compilar, almacenar, procesar, analizar e informar sobre los datos del régimen de verificación, y*

*(l) Supervisar, evaluar e informar sobre el desempeño general del Sistema Internacional de Vigilancia y del Centro Internacional de Datos.*

## **D. INSPECCIONES IN SITU**

### **(Solicitud de inspección in situ)**

*35. El único propósito de una inspección in situ será aclarar si una explosión de ensayo de armas nucleares o cualquier otra explosión nuclear ha llevado a cabo en violación del artículo I y, en la medida de lo posible, a reunir todos los hechos que puedan contribuir en la identificación de cualquier posible infractor.*

### **(Observador)**

*61. Con respecto a un observador, se aplicará lo siguiente:*

*(a) El Estado Parte requirente, con sujeción al acuerdo del Estado Parte inspeccionado, puede enviar un representante, que deberá ser nacional del Estado Parte requirente o de un tercer Estado Parte, para observar el desarrollo de la inspección en el sitio,*

*(b) El Estado Parte inspeccionado notificará su aceptación o no aceptación del observador propuesto al Director General en un plazo de 12 horas después de la aprobación de la inspección in situ por el Consejo Ejecutivo;*

*(c) En caso de aceptación, el Estado Parte inspeccionado concederá acceso al observador, de conformidad con el Protocolo;*

*(d) El Estado Parte inspeccionado, por regla general, deberá aceptar al observador propuesto, pero si el Estado Parte inspeccionado ejerce una negativa, este hecho se hará constar en el informe de inspección.*

*No habrá más de tres observadores de un total de Estados Partes solicitantes.*

## **Protocolo Parte I – SISTEMA INTERNACIONAL DE VIGILANCIA Y CENTRO INTERNACIONAL DE DATOS.**

### **C. VIGILANCIA DE RADIONÚCLIDOS**

*9. Cada Estado Parte se compromete a cooperar en un intercambio internacional de datos sobre los radionúclidos en la atmósfera para ayudar en la verificación del cumplimiento del presente Tratado. Esta cooperación abarcará el establecimiento y operación de una red mundial de estaciones de vigilancia de radionúclidos y laboratorios certificados. La red proporcionará datos de conformidad con los procedimientos acordados en el Centro Internacional de Datos.*

*11. La red de estaciones de vigilancia de radionúclidos contará con el apoyo de los laboratorios, los cuales serán certificados por la Secretaría Técnica, de acuerdo con el manual operativo correspondiente para el desempeño, el contrato para la Organización y sobre la base de honorarios por servicio, del análisis de las muestras procedentes de las estaciones de vigilancia de radionúclidos. Los laboratorios especificados en la Tabla 2-B del anexo 1 al presente Protocolo, y adecuadamente equipado, será, según sea necesario, también será utilizada por la Secretaría Técnica para llevar a cabo análisis adicionales de muestras procedentes de las estaciones de vigilancia de radionúclidos. Con el acuerdo del Consejo Ejecutivo, laboratorios adicionales pueden ser certificados por la Secretaría Técnica para llevar a cabo los análisis de rutina de muestras de las estaciones de monitoreo manual cuando sea necesario. Todos los laboratorios homologados proporcionarán los resultados de esos análisis al Centro Internacional de Datos, y al hacerlo, deberán cumplir los requisitos técnicos y operacionales especificados en el Manual de Operaciones sobre la vigilancia de radionúclidos y el intercambio internacional de datos sobre radionúclidos.*

### **(Asistencia Técnica)**

22. *El Centro Internacional de Datos, en tanto fuese necesario, prestará asistencia técnica a los distintos Estados Partes:*

*(a) En la formulación de sus requisitos para la selección y examinación de datos y productos,*

*(b) Mediante la instalación en el Centro Internacional de Datos, un Estado Parte puede solicitar, sin costo alguno, algoritmos de computadora o software para calcular la nueva señal y los parámetros de eventos que no están incluidos en el Manual de Operaciones para el Centro Internacional de Datos, la salida de productos se consideran resultados del Estado Parte requirente, y*

*(c) Al ayudar a los Estados Partes para desarrollar la capacidad de recibir, procesar y analizar Datos de sistema de vigilancia en un centro nacional de datos.*

23. *El Centro Internacional de Datos de forma continua deberá supervisar e informar sobre el estado operacional de las instalaciones del Sistema Internacional de Vigilancia, de los enlaces de comunicaciones, y de sus sistemas de procesamiento propios. Se enviará una notificación inmediata a los responsables si el rendimiento operacional de cualquier componente no cumple con los niveles acordados, enunciados en el manual de operaciones correspondiente.*

## **Protocolo Parte II - INSPECCIONES IN SITU**

### **(Designación de inspectores y ayudantes de inspección)**

14. *Un equipo de inspección puede consistir de inspectores y ayudantes de inspección. Una inspección en el sitio sólo se llevará a cabo por inspectores calificados designados especialmente para esta función. Ellos podrán ser asistidos por ayudantes de*

*inspección especialmente designados, como el personal técnico y administrativo, tripulaciones aéreas e intérpretes.*

*25. Cada inspector incluido en la lista de inspectores y ayudantes de inspección recibirá la formación correspondiente. Dicha capacitación será proporcionada por la Secretaría Técnica de acuerdo con los procedimientos especificados en el Manual de Operaciones para las inspecciones in situ. La Secretaría Técnica coordinará, de acuerdo con los Estados Partes, un programa de capacitación para los inspectores.*

*88. De conformidad con el artículo IV, apartado 57 y el párrafo 86, los derechos y obligaciones del Estado Parte inspeccionado deberán incluir:*

*(a) El derecho a tomar medidas para proteger instalaciones y emplazamientos sensibles de conformidad con el presente Protocolo;*

*(b) La obligación, cuando el acceso está restringido en la zona de inspección, para hacer todos los esfuerzos razonables para satisfacer las exigencias del mandato de inspección a través de medios alternativos.*

*(c) El derecho a tomar la decisión final con respecto a cualquier acceso del equipo de inspección, teniendo en cuenta sus obligaciones en virtud del presente Tratado y las disposiciones relativas al acceso controlado.*

*89. De conformidad con el Artículo IV, párrafo 57 (b) y el párrafo 88 (a) anterior, el Estado Parte inspeccionado tendrá el derecho de toda la zona de inspección a tomar medidas para proteger las instalaciones y equipos sensibles, y para evitar la divulgación de información confidencial no relacionada con la finalidad de la inspección. Esas medidas podrán incluir, entre otras cosas:*

*(a) El recubrimiento de las pantallas sensibles, material y equipo,*

*(b) Restricción de las mediciones de la actividad de radionúclidos y la radiación nuclear para determinar la presencia o ausencia de los tipos y energías de radiación pertinentes para el propósito de la inspección,*

*(c) La restricción de la toma de muestras o análisis de la determinación de la presencia o ausencia de productos radiactivos o de otro tipo pertinentes para la finalidad de la inspección,*

*(d) Administrar el acceso a edificios y otras estructuras de acuerdo con los párrafos 90 y 91 y*

*(e) Declaración de los sitios de acceso restringido, de conformidad con los párrafos 92 a 96*

*90. El acceso a edificios y otras estructuras se aplazará hasta después de la aprobación de la continuación de la inspección in situ, de conformidad con el artículo IV, apartado 47, excepto para el acceso a edificios y otras estructuras que alojan a la entrada a una mina, otras excavaciones o cavernas de gran volumen de otra forma no accesible. Para estos edificios y estructuras, el equipo de inspección tendrá el derecho sólo de tránsito, según lo indicado por el Estado Parte inspeccionado, a fin de entrar en esas minas, cavernas u otras excavaciones.*

*91. Si, tras la aprobación de la continuación de la inspección de conformidad con el artículo IV, párrafo 47, el grupo de inspección demuestra creíblemente que el Estado Parte inspeccionado que el acceso a edificios y otras estructuras es necesario para cumplir con el mandato de inspección y que las actividades necesarias autorizadas en el mandato no podrían llevarse a cabo desde el exterior, el grupo de inspección tendrá el derecho a tener acceso a dichos edificios u otras estructuras. El jefe del grupo de inspección solicitará acceso a un edificio o estructura que indique la finalidad de dicho acceso, el número específico de inspectores, así como las actividades previstas. Las modalidades de acceso serán objeto de negociación entre el grupo de inspección y el Estado Parte inspeccionado. El Estado Parte inspeccionado tendrá el derecho de*

*imponer restricciones o, en casos excepcionales y con una justificación razonable, prohibiciones, en el acceso a edificios y otras estructuras.*

### ***(Recolección, manejo y análisis de muestras)***

*98. Siempre que sea posible, el equipo de inspección analizará las muestras in situ. Los representantes del Estado Parte inspeccionado tendrán el derecho a estar presentes cuando se analicen las muestras in situ. A petición del equipo de inspección, el Estado Parte inspeccionado, de conformidad con los procedimientos convenidos, prestará asistencia para el análisis de las muestras en el lugar. El grupo de inspección tendrá el derecho de transferir muestras para su análisis fuera de las instalaciones en laboratorios designados por la Organización únicamente si se demuestra que el análisis de las muestras necesario no puede llevarse a cabo en el lugar.*

## Bibliografía

- Cirincione, Joseph, Bomb Scare: The history and future of nuclear weapons, 2007, Columbia University Press.
- Brown, Theodore, *Química. La Ciencia Central*, Pearson Educación, 9ª edición, 2004.
- The Bulletin of the Atomic Scientists, julio/agosto 1994.
- <http://www.laguia2000.com/el-mundo/tratado-de-tlatelolco>
- <http://www.onu.cl/onu/onu-en-el-mundo/estructura-y-organigrama/>
- <http://www2.ssn.unam.mx:8080/website/jsp/CTBTO-socorro.jsp>
- <http://www.ikerjimenez.com/reportajes/hiroshima/index2.htm>
- <http://thebulletin.org/nuclear-notebook-multimedia>
- <http://www.ctbto.org/>