LA CUESTION DEL URANIO

ESTRUCTURA DEL SISTEMA INTERNACIONAL Y POLITICAS DE ESTADO

DIRECTOR DE TESIS
Ing. Alejandro Valerio Sruoga

MAESTRANDO
Ing. Rodrigo Germán José Cabado

CIUDAD AUTONOMA DE BUENOS AIRES - ABRIL DE 2019.

RESUMEN

La Cuestión del Uranio. Estructura del Sistema Internacional y Política de Estado, describe el desarrollo nuclear argentino, complejo, autónomo y reconocido, y su inserción en un mundo cambiante; dilucidando cómo el más importante complejo de tecnología intensiva ha sido posible en un país con tantos vaivenes en la política interna, y dependiente del contexto internacional.

Trataremos de dar respuesta a los siguientes interrogantes: ¿Cómo es posible que nuestra nación que ha tenido tantos cambios radicales políticos haya podido ser consecuente en su estrategia nuclear? ¿Cómo es posible que frente a las grandes presiones internacionales por parte de los países hegemónicos, devenidos en miembros permanentes del Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas, nuestra nación haya desarrollado la tecnología completa del ciclo de combustible nuclear? ¿Cómo es posible haber producido tal desarrollo frente a la escases constante de recursos financieros y cíclicas crisis económicas?

La importancia de la temática nuclear en el estudio de la energía es indiscutida. La división del átomo surge con fuerza en medio del mayor conflicto bélico que involucró al mundo, más de setenta naciones envueltas, más de cincuenta millones de muertos. La carrera atómica desatada cambió el orden internacional. En ese contexto se interpreta que el conocimiento de los principios técnicos de la energía nuclear y sus aplicaciones tecnológicas resulta indispensable para todo profesional formado en la inter-disciplina de la energía, que pretenda proyectar una matriz energética diversificada y salvaguarde los intereses de la nación.

No podemos defender lo que no conocemos. Y así para continuar la senda del crecimiento del desarrollo nuclear argentino, debemos formar a los interesados no sólo en el conocimiento histórico, sino también en la importancia del sector científico como defensa de los intereses nacionales. Dicha cuota es el pasaporte a los grandes grupos de decisión de la escena internacional: G-20, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD), Grupo de Países Proveedores Nucleares (NSG), entre otros.

Para tratar de llegar a la resolución de la hipótesis utilizaremos el método deductivo en las secciones vinculadas con las ciencias sociales; en tanto emplearemos el método inductivo para proporcionar los conocimientos de la polisemia nuclear. El capítulo I plantea cómo se llegó a la división del átomo en el contexto histórico del conflicto internacional. Cómo el notable avance que prevalecía en Europa, y fundamentalmente en Alemania, gira a EE.UU., conjuntamente con la diáspora de

científicos. Cómo la interpretación de la agenda norteamericana asigna prioridad uno al tema nuclear naturalizando la disciplina realista y cómo, en un intento de no perder el centro, Rusia, Francia, el Reino Unido y una insospechada China van a despegarse de la política norteamericana y conseguir su propio desarrollo.

En el capítulo II pretenderemos dar a conocer los aspectos básicos de la tecnología nuclear. Aquí cambiaremos al método inductivo, ¿para qué es necesaria la energía nuclear? ¿Cómo está constituida una central nucleoeléctrica? ¿De qué hablamos cuando hablamos de seguridad? ¿Cómo contribuye la energía nucleoeléctrica a menguar las emisiones de gases de efecto invernadero? ¿Cómo contribuye la medicina nuclear en el índice de desarrollo humano de una nación?

En el capítulo III proponemos centrar el análisis en los instrumentos internacionales que, tendenciosamente, sirvieron para legitimar la hegemonía de los países centrales con asiento permanente en el Consejo de Seguridad. A esta altura será comprensible que la tecnología nuclear tiene un fin dual, civil y militar, y que la línea divisoria entre ambas es prácticamente inexistente. ¿Han entonces usado los países centrales el Tratado de No Proliferación de Armas Atómicas como una forma, no solo de perpetuar su hegemonía militar, sino de extender la exclusividad del conocimiento con fines comerciales? ¿Todos los Estados miembros tienen la misma igualdad de derechos, tal como lo establece la Carta de Naciones Unidas?

Trataremos de dilucidar en el capítulo IV por qué esta presión internacional tuvo poco efecto en nuestro país. Ayudando a reflexionar desde el posicionamiento teórico anterior y de la mano de ejemplos concretos, cómo el desarrollo nuclear argentino encontró en su fortaleza interna la herramienta para su crecimiento. Describiremos in extenso todo el desarrollo nuclear argentino desde mediados del siglo pasado hasta nuestros días. Reflexionaremos acerca de cómo el consenso regional ayudó a la política interna, direccionando el análisis en el reconocimiento internacional y cómo las exportaciones industriales de la tecnología Argentina contribuyeron a sustentar la confianza.

Reflexionaremos en el capítulo V sobre el presente y el futuro de la actividad nuclear en Argentina. Entendiendo poder elaborar cómo la construcción institucional autárquica y la consecución de una política de estado trascendente, es el sustrato del posicionamiento argentino en el mundo.

PALABRAS CLAVES: Energía - Desarrollo - Nuclear.

TABLA DE CONTENIDOS

Capítulo I

EL CONFLICTO INTERNACIONAL COMO DESENCADENANTE DE LA ERA ATOMICA

1. Los primeros pasos en Europa 7
2. Interés, poder y teoría política: EE.UU. entra en carrera 20
3. El fin de la unipolaridad y la legitimación del poder de veto en el Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas 33
4. Arsenal nuclear y política de disuasión 36

Capítulo II

ASPECTOS BÁSICOS DE LA TECNOLOGÍA NUCLEAR Y CONCEPTOS DE SEGURIDAD

1. Generación de energía eléctrica 39
2. Elementos del núcleo de una central 50
3. Componentes y sistema de seguridad 52
4. Tipo de reactores nucleares 59
5. Reactores avanzados 68
6. Reactores modulares pequeños (SMR) 70
7. Radioisótopos y medicina nuclear 72
8. Efectos biológicos de las radiaciones 77
9. Acuerdo internacional para la representación de accidentes o incidentes nucleares (OIEA) 83

Capítulo III

INSTRUMENTOS INTERNACIONALES DE NO PROLIFERACIÓN

1. Generalidades, salvaguardias y seguridad 85
2. Tratado de no proliferación de armas atómicas 89
3. Tratado de Tlatelolco 110
4. Régimen Argentino – Brasileño de contabilidad y control 115
5. El derecho internacional, es selectivo? 118

Capítulo IV

PERFIL NUCLEAR ARGENTINO

1. Una nación preparada 121
2. Centrales nucleares 139
3. Ciclo de combustible nuclear 145
4. El asunto del agua pesada 174
5. Reactores de investigación 181
6. Exportaciones nucleares y reconocimiento internacional 184
7. Central argentina de elementos modulares (CAREM) 189

Capítulo V

PROSPECTIVA Y REFLEXIONES FINALES

1. El futuro mediato de la generación nuclear en el plano internacional 193
2. Lecciones aprendidas y prospectiva vernácula 196
3. Últimas consideraciones 201

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 205

ANEXOS 211

Capítulo I

El CONFLICTO INTERNACIONAL COMO DESENCADENANTE DE LA ERA ATÓMICA

"El rasgo principal del realismo político es el concepto de interés, definido en términos de poder que infunde un orden racional al objeto de la política, y de ese modo hace posible la comprensión teórica de la política".

Hans Morgenthau

"Una guerra de exterminio que llevaría consigo el aniquilamiento de las dos partes y la anulación de todo derecho, haría imposible una paz perpetua, como no fuese la paz del cementerio de todo el género humano".

Inmanuel Kant

1. LOS PRIMEROS PASOS EN EUROPA

Hacia fines del siglo XIX, no eran muchos los hombres de ciencia que creían en la existencia de los átomos. No obstante, un descubrimiento, probablemente casual, iba a comenzar a deshilvanar una catarata de conocimientos que permitieron luego explicar fenómenos hasta entonces sólo sospechados.

Corría el año 1896, cuando a los principales institutos de física del mundo llegaba una carta proveniente de Viena, firmada por el profesor alemán Wilhelm Roentgen. En ella afirmaba haber descubierto la forma de fotografiar objetos ocultos, inclusive los huesos del interior de la mano en una persona viva, mediante la utilización de unos rayos a los que llamó con la letra equis del alfabeto griego, comúnmente utilizada para nombrar algo que aún no se conoce. Por su trabajo, el profesor sería galardonado, en 1901, con el primer premio Nobel de Física. El experimento de Roentgen consistía en un bulbo de vidrio, en cuyo interior se había hecho vacío y se habían instalado herméticamente dos electrodos, uno negativo o cátodo y otro positivo o ánodo. Al aplicar una tensión alta entre ambos electrodos, se verificaba una fluorescencia en la pared opuesta al cátodo. El profesor interpuso sus dedos para sostener una placa fotográfica en el trayecto de dicha fluorescencia, y así obtuvo la primera imagen ósea que revolucionaría la medicina contemporánea.

Al llegar una copia de su trabajo a la Academia de Ciencia de París, éste captó la atención de Henri Becquerel, profesor de física y descendiente de una familia de académicos quien, motivado por su interés en la fluorescencia, decidió realizar un experimento utilizando una mezcla de cristales que contenía uranio, azufre, potasio y oxígeno. Los cubrió con un papel y debajo colocó una placa fotográfica, exponiendo el conjunto a la acción de los rayos ultravioletas provenientes de la luz solar. Al revelar las placas, observó un ennegrecimiento en la fotografía que coincidía con el área en la que habían estado apoyados los cristales. Comenzó entonces a probar interponiendo diversos objetos entre los cristales y la placa, tales como metales y vidrio, pero siempre obtenía el mismo resultado, hecho que lo llevó a postular haber encontrado una radiación penetrante producida por la luz.

Un día, mientras preparaba un nuevo ensayo, las nubes taparon el sol y Becquerel guardó las placas y los cristales dentro de un cajón. Si bien su intuición le dictaba que nada podía pasar, como buen hombre de ciencia, decidió igualmente revelar la placa fotográfica y, para su asombro, observó que el ennegrecimiento era aún mayor. Esto significaba que los cristales emitían sus rayos incluso en la oscuridad total, en tanto el único material que siempre debía estar para producir este fenómeno era el uranio. Alexandre Edmond Becquerel había descubierto así la radiactividad, hecho que, en 1903, lo haría merecedor del premio Nobel de Física que compartiría con Marie y Pierre Curie.

Marie Curie, hija de un profesor de física de Varsovia de apellido Sklodowska, en la Polonia rusa de la época, se radicó luego en París, donde se licenció en la Sorbona y donde también conoció a quien sería su esposo, Pierre Curie. Con pasión notable por la investigación, continuó los estudios de Becquerel en un austero y mal equipado laboratorio de la Escuela de Física de París. Su abnegación y la de su esposo los llevaron a descubrir dos nuevos elementos: el Polonio y el Radio, luego de casi cuatro años de experimentación, viviendo en la pobreza y despreocupándose casi de su alimentación. Aparte de haber comprobado que el uranio no era el único elemento que producía radiactividad (de hecho, la radiactividad del radio era un millón de veces superior), su descubrimiento supuso numerosas aplicaciones médicas precursoras de la radioterapia actual y hasta aplicaciones industriales derivadas de la luminiscencia que provocaba al estar mezclado con pintura. Muchos pintores artesanales de manecillas de reloj, que empleaban sus labios para humedecer el pincel, serían las primeras víctimas de los efectos nocivos de la radiactividad. Marie Curie fue la primera investigadora en obtener dos premios Nobel en diferentes áreas de las ciencias. A ella, que nunca solicitó patentes por sus descubrimientos, se le atribuye la frase: *"La mejor vida no es la más larga, sino la más rica en buenas acciones".*

Por su parte, Ernest Rutherford, convertido en Sir Ernest Rutherford en 1914, quien, como vemos, contrastaba notoriamente con el espíritu de humildad de los Curie, se encontraba profundamente interesado en sus descubrimientos. Trabajando en conjunto con un joven Licenciado en Química

de Oxford, Frederick Soddy, reveló que la esencia de la radiactividad era la transformación espontánea de una clase de átomo en otro.

Pero, ¿qué era el átomo?

La unidad mínima indivisible de la época. Anteriormente, Rutherford y el danés Niels Bohr habían postulado un modelo que explicaba que el átomo estaba constituido por un núcleo muy diminuto y macizo, cargado positivamente, y una nube de electrones, de carga negativa, orbitando a su alrededor. Posteriormente, Chadwick agregaría al núcleo la existencia de partículas de carga eléctrica neutra; con lo cual, la concepción de dicho núcleo atómico pasó a estar constituida por protones (de carga positiva) y neutrones (de carga neutra), unidos entre sí por fuerzas muy potentes.

Para aquel tiempo, Albert Einstein había logrado relacionar la masa y la energía en una ecuación que revolucionaría la ciencia. Según dicha ecuación, la energía era igual a la masa multiplicada por la velocidad de la luz al cuadrado ($E=m*c^2$). Por tanto, de la desintegración de un simple gramo de materia, se podría obtener una proporción muy grande de energía.

Si bien en aquella época las noticias de divulgación científica circulaban libremente entre los principales centros de investigación del mundo, el ascenso de Hitler al poder, en 1933, comenzaría a cerrar las fronteras sobre el escenario. Alemania expulsaría a numerosos judíos de sus puestos, entre ellos, Albert Einstein, y con ello comenzaría una sangría de investigadores que, en el contra fáctico, le habrían sido sumamente útiles para los alemanes en la guerra que seis años más tarde tendría lugar.

En tanto, Frederic Joliot, yerno de Marie Curie, estaba interesado en “bombardear” blancos de distintos materiales con partículas alfa, partículas con carga positiva proveniente de distintos elementos, como el radio, que habían sido utilizadas ya por Rutherford. Para ello, Joliot tuvo que valerse de un ingenio producido por John Cockcroft y Ernest Walton en 1932, el cual permitía acelerar partículas a altas energías mediante la diferencia de potenciales eléctricos, empleando la regla que establece que partículas de cargas diferentes se atraen y aquellas de igual carga se repelen. De este modo, Cockcroft y Walton habían montado en Cavendish el primer acelerador de partículas, también llamado “*rompe átomos*”, que permitió comenzar los estudios del interior del núcleo atómico. Posteriormente, Cockcroft se transformaría en uno de los principales hacedores del proyecto atómico británico.

Los experimentos de Joliot despertaron la curiosidad del hombre que habría de construir el primer reactor artificial en el mundo, el científico italiano Enrico Fermi. Pero esto no sucedería sino hasta mucho después.

Fermi se planteó la conjetura que si se bombardeaba el núcleo atómico, que tenía carga positiva, con una partícula alfa (también de carga positiva) se necesitarían energías importantes para hacer colisionar las partículas que, naturalmente, tienden a repelerse. Postuló entonces la idea de bombardear los núcleos atómicos con neutrones que, al no tener carga, no encontrarían fuerzas de repulsión. En total, Fermi experimentó en Roma con el setenta por ciento de los elementos conocidos en la naturaleza, observando que casi la mitad de ellos dieron pruebas de ser radiactivos bajo la influencia del choque de los neutrones. Aún más, Fermi descubrió que si la velocidad de los neutrones era "lenta", se originaba mucha más actividad que si era "rápida". Dicha velocidad estaba en connotación con el medio en donde se producía la reacción y se relacionaba con la masa de los átomos constitutivos del mismo. Así, mientras más similar era la masa de los átomos del medio a la masa del neutrón, más efectiva era la desaceleración. En este sentido, materiales como el agua y la parafina, que tienen constituyentes de hidrógeno, son llamados "moderadores", ya que "moderan" la velocidad del neutrón, resultando de suma trascendencia en los reactores nucleares.

En 1935, cuando el ejército italiano de Mussolini penetró en la Abisinia con la total anuencia de Alemania, y ante la débil reacción de la Sociedad de Naciones (antecesora de la actual Organización de Naciones Unidas), Enrico Fermi, decidió abandonar Roma y afincarse en los Estados Unidos.

Los resultados provenientes de Roma fueron particularmente interesantes para los institutos europeos de Francia y Alemania, aunque no respecto a todos los elementos de la naturaleza, sino particularmente con el uranio, que era efectivamente el más pesado y el último en el ordenamiento de la tabla periódica que Dimitri Mendeleiev había postulado en 1869. Los científicos creían que, al bombardear el uranio con neutrones lentos, se producirían nuevos elementos desconocidos, situados más allá del uranio, llamados precisamente "transuránicos". Sin embargo, esta especulación era a todas luces incorrecta, pues lo que ellos no sabían era que estaban delante del proceso de la fisión nuclear.

Entretanto, en el Instituto Kaiser Wilhelm de Berlín se encontraban trabajando dos experimentados radio químicos: Otto Hahn y Lise Meitner, a los que posteriormente se uniría Fritz Strassmann; mientras que en París, Joliot estaba estudiando el acertijo junto a un físico yugoslavo, Pavle Savitch. Pero al tiempo de ser constituido y como consecuencia de la anexión de Austria por Alemania, el equipo de Berlín fue disuelto. Lise Meitner pasó entonces al anonimato y, con la ayuda de amigos holandeses, se dirigió a Estocolmo. Hahn, por su parte, continuó la línea de investigación junto a Strassmann y, el 19 de Diciembre de 1938, dieron comienzo a un experimento trascendental, sobre el cual Hahn le escribiría a Meitner, ya que no conseguía arribar a ninguna conclusión lógica, al menos siguiendo el proceso deductivo de la época. Fue así que, estando Lise con su sobrino Frisch, se les vino a la mente el modelo atómico que Bohr había sugerido años antes, modelo que les permitiría arrojar un poco de luz sobre dicha incógnita. Tal

vez -se preguntaron para sí- esto funcionaba como una gota de agua ante una perturbación externa, la cual, al pincharla con una aguja, se estira y a continuación se estrecha, hasta acabar rompiéndose en dos gotas de agua. Entonces, el núcleo de uranio podía ser como una gota muy inestable, con predisposición a dividirse en dos ante una ligera perturbación, como la producida por el choque del neutrón.

Seguidamente, mediante técnicas de laboratorio, se logró pesar la masa de los dos núcleos escindidos, comprobando que la sumatoria de ambas era menor que la del núcleo original. Por tanto, la reacción había provocado pérdida de masa, con la consiguiente creación de energía, según la fórmula de Einstein ($E=m*c^2$). De repente todo cuadraba: el núcleo de uranio se había partido generando, entre otras cosas, energía.

El trabajo de Hahn y Strassmann fue publicado el 6 de Enero de 1939 en la más prestigiosa revista científica de la Alemania de aquellos años. Sin embargo, la logística de las publicaciones de la época no era de la más rauda y, frecuentemente, los científicos se anoticiaban más rápidamente a través de los trascendidos del boca en boca, ya que podrían pasar varios meses hasta encontrarse con el papel impreso. Fue así como, después de la Navidad de aquel año, habiendo retornado Frisch a Copenhague, donde se estaba trabajando, se encontró con Bohr y le comentó acerca de los trabajos realizados en Alemania así como sobre las conclusiones a las que habían arribado con Meitner, solicitándole mantuviera el silencio hasta tanto estas últimas fueran publicadas. Con los ojos exaltados, Bohr no pudo más que exclamar su sorpresa. Finalmente, Meitner y Frisch redactaron sus conclusiones y telefónicamente las trasmitieron a Londres para ser publicadas en la revista Nature del 16 de Enero de 1939, bajo el título *"Un nuevo tipo de reacción Nuclear"*. Al proceso lo llamaron fisión, en clara analogía con la partición que se sucedía en el modelo de la gota de agua.

Tal como lo tenía previsto, Niels Bohr emprendió luego un viaje en barco con destino a Nueva York, encontrándose en altamar con su colega Leon Rosenfeld, a quien le contaría sobre lo acontecido, omitiendo aparentemente solicitarle guardar el secreto hasta tanto no llegase el trabajo impreso a los centros de estudio. Una vez arribado el barco a puerto, Bohr acudió a la Universidad de Columbia en busca de Fermi, mientras que Rosenfeld se dirigió al Instituto de Princeton, donde hizo público el comentario. Con un efecto viral, la noticia cundió, expandiéndose velozmente entre los científicos norteamericanos, quienes se aprestaron en sus laboratorios a fin de confirmar el hallazgo. Frente a ello, durante una reunión sobre física teórica llevada a cabo en Washington por aquellos días, Bohr se vio obligado, según él mismo dijo, a revelar lo que sabía. El proceso de fisión atómica había sido descubierto.

Los experimentos subsiguientes se concentraron en discernir qué ocurría en el infinitésimo instante posterior a la fisión. Habida cuenta que ya se había comprobado que los neutrones iniciaban el proceso de ruptura atómica, existía también la conjetura que un grupo nuevo de

neutrones se producía con cada fisión. Esta suposición condujo a otra: si las cosas resultaban así, entonces se podía hablar de una reacción en cadena provocada por la fisión de nuevos átomos con los neutrones generados en la fisión inmediatamente anterior. Pese a que el concepto de reacción en cadena era ya conocido para la comunidad científica de 1939, pues era el germen que explicaba las explosiones químicas, lo sorprendente en este caso era que, si se podía materializar una reacción en cadena análoga con un núcleo de uranio, la energía liberada tendría un orden de magnitud millones de veces superior.

Lamentablemente, el mundo de aquel entonces se encaminaba a una guerra en gran escala. En ese contexto, los científicos muy pronto se dieron cuenta de que estaban manipulando un conocimiento que podría ser utilizado con fines militares. Probablemente, el primero de ellos haya sido Leo Szilard, un físico húngaro de ascendencia judía que había estudiado en el instituto de Berlín, donde había sido discípulo de Albert Einstein. Hacia 1933, víctima de la persecución nazi, Szilard debió abandonar su país y afincarse en Londres.

Como hemos visto, por aquellos años, la idea de la energía producida por los átomos era prácticamente inexistente, de hecho, aún faltaban al menos cinco años para los experimentos de Hahn y Strassmann de la Navidad del '38. Se dice que Szilard se encontraba paseando por los suburbios de Southampton cuando, al divisar cómo cambiaba un semáforo del rojo al verde, pudo percibir esquemáticamente cómo sería una reacción nuclear en cadena. Lo anterior pareciera ser inverosímil para la época si no fuera porque el mismo Leo Szilard dejó registrada una patente sobre dicho fenómeno en la oficina de marcas y patentes del almirantazgo británico, bajo el número 630726. En 1938, el físico se mudó a Nueva York y se unió al equipo de Enrico Fermi, con quien años más tarde descubriría que, efectivamente, por cada fisión se producía una multiplicación de neutrones posterior que inducía a una reacción en cadena.

No obstante, la importancia fundamental de Szilard en Norteamérica radicó en el hecho de que fue él quien redactó y le envió una carta al entonces presidente Franklin Roosevelt, alertándolo sobre la posibilidad del desarrollo de un arma semejante en manos de Alemania. Asimismo, respecto de la carta fechada en agosto de 1939, resulta notorio que la misma no haya sido firmada por su autor, sino por quien fuera su antiguo profesor en Berlín, Albert Einstein, premio Nobel de Física en 1921. Pues claro está que este hombre, que había formulado la teoría de la relatividad general desafiando los principios de la gravedad, que había confirmado sus ideas acerca de la curvatura de la luz, que había predicho la transformación de masa en energía y que había explicado el efecto fotoeléctrico, iba a tener una mayor influencia sobre el presidente de los Estados Unidos que el propio Szilard.

Y así fue. La consecuencia directa de la Carta de Agosto originó el lanzamiento en secreto del Proyecto Manhattan.

Entre tanto, si bien dentro de la comunidad científica la reacción en cadena era ya ampliamente aceptada, no todos creían que podría causar una explosión. Entre ellos estaba Bohr, cuya teoría radicaba en el supuesto de que era el isótopo ^{235}U, en vez del isótopo predominante ^{238}U, el que producía la fisión[1]. Ahora bien, para lograr una interpretación correcta de la cuestión debemos detenernos primero en la descripción y explicación de qué es ciertamente el uranio.

El uranio es un elemento químico de color gris, sumamente denso, descubierto en el año 1789 y llamado así en honor al planeta Urano, hallado ocho años antes. Su número atómico es 92, lo que significa que posee 92 protones y 92 electrones. No obstante, su núcleo puede contener entre 142 y 146 neutrones, y de allí surgen sus isótopos. En la naturaleza podemos encontrar tres tipos de ellos: ^{238}U, ^{235}U y ^{234}U, en tanto por cada unidad de uranio natural, el 99,2% es ^{238}U, el 0,7% es ^{235}U y el resto es ^{234}U, siendo ésta una relación constante en todos los yacimientos. Como muchos otros materiales; en la naturaleza se presenta en bajas concentraciones, es decir que se trata de un metal de baja ley o, dicho de otro modo, que hay que remover mucha cantidad de material para obtener una pequeña proporción del mismo. Normalmente, la roca madre es la uranita, a partir de la cual y por medio de procesos físico-químicos se obtiene el concentrado del metal.

Ahora que comprendemos el mineral, volvamos a Bohr. Si efectivamente era el ^{235}U el que producía la fisión, contábamos tan sólo con una reducida cantidad tal como se da naturalmente, pues la mayor parte es el ^{238}U. Un segundo problema era que el ^{238}U absorbía neutrones y, con ello, frenaba la reacción en cadena. Esto podía ser subsanado moderando la velocidad de los neutrones a fin de hacerlos lentos, pero precisamente la idea de un proceso lento se contraponía a lo que significaba una explosión. Por tanto, en las postrimerías de 1939, los temores relativos a una explosión nuclear se aliviaron.

Dos líneas de investigación continuaron siendo relevantes y acapararon la atención científica luego de descubierta la fisión. En primer lugar, se tornaba necesario confirmar la hipótesis según la cual en la fisión de átomos de uranio se liberan neutrones, que ahora llamaremos secundarios. Si esto resultase correcto, el paso siguiente sería intuitivo: pensar cuántos se generan. En segundo lugar, flotaba una pregunta referente a si debía haber una determinada cantidad de masa mínima de uranio, que de aquí en más llamaremos masa crítica, para obtener la reacción en cadena.

[1] Los isótopos son átomos de un mismo elemento que difieren en la cantidad de neutrones del núcleo, por tanto, también en su masa. Casi todos los elementos químicos tienen más de un isótopo, algunos de ellos son estables y otros inestables. Esto último significa que, con el tiempo, pueden decaer o transformarse en isótopos de otro elemento, emitiendo a su paso radiación. Los isótopos inestables son útiles para determinar la edad de ciertos materiales, como en el caso de las dataciones por carbono catorce C^{14}. En laboratorio también pueden producirse isótopos artificiales, con gran variedad de aplicaciones para la ciencia y la industria.

Respecto a la primera línea de investigación los experimentos resultaron ser bastante más difíciles de lo previsto, pues había que diferenciar los neutrones secundarios de entre los primarios necesarios para iniciar el proceso. Joliot, en su laboratorio de Francia, y Fermi junto con Szilard, ambos en la Universidad de Columbia de Nueva York, abordaron el problema.

No obstante, existía una diferencia sustancial con relación a la divulgación de sus actividades. Mientras Szilard y sus colegas sugerían no publicar las conclusiones, con vistas a su potencial significado militar; el grupo de Joliot aún perseguía el libre intercambio de conocimientos que se habían generado en toda Europa desde los albores de la ciencia. Así, en uno de los artículos de la revista Nature, se publicó que el número de neutrones generados por cada fisión era del orden de 2.6; bastante cercano al dato certero que con la tecnología de hoy tenemos y que dice que este número es 2.5.

El primer paso estaba resuelto. El factor de multiplicación K (que es la relación entre los neutrones generados sucesivamente) era consistentemente mayor que uno; por lo cual, si en la primera fisión teníamos un neutrón que partía un átomo de uranio, de ese proceso surgirían 2.5 neutrones dispuestos a partir 2.5 núcleos nuevos de uranio. Préstese especial nota a lo exponencial de la progresión.

Por su parte, Francis Perrin, otro de los físicos que integraba el grupo de Joliot, llegó a la conclusión teórica que se necesitarían unas 40 Tn de uranio para lograr la masa crítica, número que resultó bastante acertado a las 50 Tn que los datos experimentales posteriores demostrarían.

Entre tanto, en otro lado del mundo, un grupo de físicos rusos que seguía las novedades publicadas en las revistas especializadas comenzó a organizarse en un comité bajo el amparo de la Academia de Ciencias de Moscú, con el principal interés de investigar sobre la producción de energía con fines industriales. El temor a propósitos bélicos no había asaltado su pensamiento y, continuando con la misma línea francesa y europea, no hubo censura previa a la difusión de los trabajos científicos. Todo iba a detenerse para ellos en 1941, producto de la invasión alemana.

Cabe destacar que, en cuanto a la línea de tiempo y espacio, toda la pasión que había despertado este amanecer de la ciencia nuclear se conjugó con el inicio de la Segunda Guerra Mundial, en la ocupación de Polonia de Setiembre de 1939. Como hemos visto, muchos científicos huyeron de la Alemania nazi a partir del ascenso de Hitler al poder. No obstante, el régimen aún contaba con una promisoria fuente de recursos, entre ellos, Werner Heisemberg, que en 1924 había trabajado con Bohr haciendo aportes fundamentales al momento de explicar el modelo atómico, particularmente en lo que a los electrones se refiere. Para fines 1939, Heisemberg ya tenía en claro ciertos puntos esenciales, especialmente la distinción entre los caminos que podrían llevar a obtener un arma atómica y aquellos que podrían derivar en un reactor con una reacción controlada. Previó entonces que, para lo primero, sería necesario aumentar la proporción del

isótopo fisil ^{235}U; mientras que, para lo segundo, el uso de uranio natural y un moderador parecía ser la opción más indicada.

El equipo de trabajo de Berlín se instaló en el Instituto de Física Kaiser Wilhelm, mientras que otro grupo de apoyo se radicó en la Universidad de Leipzig. En los comienzos, Heisenberg se dedicó a escribir una recopilación general sobre los temas referentes al uranio, utilizando como fuente las revistas científicas americanas, francesas e inglesas que contenían casi todas las investigaciones y conclusiones, inclusive aquellas que se habían intentado mantener en secreto, como había pretendido Szilard. A la información obtenida de dichas fuentes, sumó su punto de vista, motivo por el cual su trabajo, cuya sinopsis fue elevada al Departamento de Guerra en Diciembre del '39, devino en el mejor compendio que podría encontrarse por aquel tiempo. Lo notable de la cuestión es que dicho trabajo señalaba ya el camino a seguir con miras a la construcción de un artefacto nuclear. A saber, la separación de los isótopos de ^{235}U, que recordemos es el físil, del ^{238}U a fin de obtener una concentración del 90% de ^{235}U en la muestra, en vez del 0,7% que existe en forma natural. Claro está que esta idea rondaba también la cabeza de Bohr y de otros científicos situados al otro lado del Atlántico, mas nadie se explicaba cómo hacer para separar y concentrar isótopos de un mismo elemento.

Entre tanto, Heisenberg se abocó también a recopilar la información que podía ser empleada para concebir el funcionamiento de un reactor nuclear. Recordemos que la idea sobre un tamaño crítico, el valor del factor de multiplicación de neutrones y la noción de un moderador para frenar dichos neutrones ya habían sido fundadas y aceptadas por el conjunto de los investigadores. Paralelamente, el equipo francés dirigido por Joliot, infiriendo que la posibilidad de un artefacto nuclear resultaba por demás remota, concentró sus esfuerzos en las posibilidades de utilizar la energía de la fisión con fines pacíficos. Se cree que los primeros trabajos sobre la utilización de la propulsión nuclear en medios navales surgieron de las investigaciones realizadas por este mismo grupo. Lo que sí es seguro es que el equipo de Joliot fue el primero en obtener reacciones en cadena auto mantenidas, es decir, procesos de fisiones continuas, pero éstas tenían una corta duración. Por alguna razón, se extinguían con el tiempo. Una forma de superar este problema podría direccionarse hacia el razonamiento de Bohr, a saber, aumentar la proporción del material fisil. En este sentido, los cálculos teóricos sugirieron que un aumento modesto, que pasase del 0,7% al 0,85%, podría resultar exitoso a tal fin. Ahora bien, cómo obtener dicho incremento? Nuevamente, nos encontrábamos ante la dificultad de cómo lograr esto.

Otra línea de investigación direccionaba la solución a disponer el combustible (uranio) y el moderador (agua) no en forma homogénea, sino en forma de red y, a su vez, cambiar el moderador colocando, en lugar de agua común, agua pesada o grafito. Para una mejor compresión, volvamos sobre el concepto de moderador.

La función del moderador es frenar los neutrones que salen a gran velocidad luego de producirse la fisión, de forma tal que, al disminuir su velocidad, aumente la probabilidad de encontrarse con un átomo de ^{235}U que, como vimos, sólo está presente en un 0,7%. Ahora bien, el ejemplo clásico dice que para disminuir la velocidad de una bola de billar (simulemos que esta bola es el núcleo del átomo), nada mejor que otra bola de la misma masa. De modo que, siendo los átomos de hidrógeno bastante semejantes en masa a los neutrones, el agua podría ser considerado un buen moderador[2].

Aun así, el agua pesada y el grafito, entre otros, resultan mejores. El segundo es simplemente una forma del carbono de la naturaleza. Respecto al agua pesada conviene que nos detengamos brevemente en la compresión de algunas cuestiones relevantes. Si damos por hecho que el agua natural contiene dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H2O), el agua pesada está constituida por dos átomos de deuterio y uno de oxígeno (D2O), siendo el deuterio uno de los isótopos del hidrógeno[3]. El agua pesada, de la que se encontraban algunas reservas en Noruega, tenía ya algún uso en la química; franceses y alemanes optaron por este tipo de moderador en sus notas teóricas, mientras que el equipo de Enrico Fermi en Norteamérica optó por el grafito.

Como se desprende de lo anterior, el objetivo de todos los centros de trabajo era lograr una reacción en cadena auto sostenida, siendo los franceses y los alemanes quienes parecían aproximarse a ello con mayor probabilidad de éxito.

Volviendo a Alemania, la idea de concentrar los isótopos del ^{235}U permanecía candente. En este marco, Paul Harteck, miembro del grupo de trabajo de Heisenberg, aspiraba a lograr concentrar unas pocas cantidades para ser utilizadas en laboratorio pero, con el paso del tiempo, se propuso lograr dosis mayores. Indubitablemente, fueron los integrantes de este equipo los primeros en concebir la idea de separar los isótopos en gran escala; idea que posteriormente sería tomada por los norteamericanos para la construcción de la primera bomba arrojada sobre Hiroshima.

Retomando el proyecto de Harteck, su propuesta consistía en valerse de un proceso que, de manera exitosa, había sido recientemente aplicado en elementos gaseosos como el cloro. Éste se basaba en el sencillo hecho de que, al calentar un gas, los isótopos más livianos ascienden, mientras que los más pesados descienden. Había entonces que convertir al uranio natural en un compuesto gaseoso, y el compuesto de hexafluoruro de uranio resultó finalmente elegido. Sin embargo, puesto que resultaba ser extremadamente corrosivo y se descomponía a altas temperaturas, únicamente lograron una pequeña cantidad de concentrado, terminando por renunciar a esta línea de investigación.

[2] Esta no es la única condición para el moderador.

[3] El otro es el tritio.

Claro está que Alemania precisaba uranio para los experimentos en curso. Por lo tanto, a principios de 1940, éste se convirtió en una sustancia importante cuyas principales reservas se hallaban en Bélgica, procedentes de las minas de Shinkolobwe, actual República Democrática del Congo, territorio ocupado por el Reino de Bélgica en aquel tiempo[4]. Si bien parte de las reservas pudieron ser embarcadas a Estados Unidos antes de la invasión, la mayoría cayó bajo el poder alemán, al tiempo que las mismas serían disputadas por Heisenberg y Harteck. A este último le tocaría una pequeña proporción, algo menos de 0.2 Tn, pero tenía una idea interesante: colocar el óxido de uranio (combustible) entremezclado con anhídrido carbónico (moderador) en forma de red, como había propuesto Joliot, y realizar algunas mediciones a efectos de observar si la reacción en cadena se mantenía. Sin embargo, el experimento fracasó pues, pese a que Harteck se encontraba en la senda correcta, las 0.2 Tn. de uranio que Heisenberg le había enviado no eran suficientes para lograr la masa crítica.

Heisenberg, por su parte, también se proponía resolver el tema de la elección del moderador. Recordemos en este punto que el agua común había sido descartada por presentar la desventaja de absorber neutrones, más todavía faltaba definir si era mejor el grafito o el agua pesada. De los estudios sobre esta última se encargó él mismo, junto con un grupo de colaboradores; mientras que las medidas del grafito fueron confiadas a Walther Bothe, un distinguido físico, otrora futuro premio Nobel, aunque no por su trabajo con este mineral.

A principios de 1941, luego de dedicarse durante un mes al estudio de dicho tema junto a un equipo reclutado en el Centro de Investigaciones Médicas Kaiser Wilhelm, donde ejercía como director de la Unidad de Física, Bothe finalmente emitió sus conclusiones. Al respecto manifestó que el grafito estudiado difícilmente debía tomarse en consideración como un material moderador para el reactor. Ésta no era, a todas luces, la mejor noticia para los alemanes, quienes nadaban en el grafito proveniente de sus minas de Silesia pero no tenían gota alguna de agua pesada, que habría que empezar a conseguir o producir. Sin embargo, no se trataba de una noticia bien fundada, pues la conclusión de Bothe era errada. De hecho, el grafito sería el material que Fermi utilizaría como moderador en Norteamérica para poner en funcionamiento el primer reactor nuclear de la historia. Aún no se sabe a ciencia cierta qué fue lo que falló en el trabajo, si la calidad del

[4] El Congo fue una de las principales fuentes de materia prima para el Reino Unido durante la Segunda Guerra. Cobre, oro, diamantes de uso industrial y madera fueron embarcados en su totalidad para hacer frente a las necesidades Aliadas. El uranio extraído de la mina en cuestión fue decisivo para el desarrollo de la bomba de Hiroshima. Interesante de señalar resulta que los ingresos provenientes de estas ventas iban a parar al gobierno belga en el exilio y eran depositados como reservas de oro en Londres. Las luchas por las fuentes de riquezas naturales del Congo también se ponen de manifiesto hoy en día con el fenómeno del Coaltan, a saber, minerales de Columbita y Tantalio procedentes de la Casiterita, imprescindibles para la industria electrónica.

grafito en cuestión, el equipamiento utilizado o las mismas conclusiones del físico. Pero lo cierto es que, al descartar el grafito, los alemanes iban tras el camino más difícil: el del agua pesada.

Fue en este contexto que los alemanes visitaron la planta química que la compañía Norsk Hidro tenía en Noruega, solicitándole incrementara exponencialmente la producción de agua pesada, subproducto del amoníaco, pasando de menos de 10 kg. mensuales a 100 kg., pedido que sorprendería a los noruegos.

Con similar interés, al enterarse los franceses de la requisitoria alemana, lograron aventajarlos, consiguiendo los 185 kg. que la Norsk Hidro tenía en stock. Sin embargo, no alcanzaron a sacar demasiado provecho de dicha ventaja ya que, poco tiempo después, las tropas alemanas penetraron en el frente francés. Joliot incineró entonces la mayoría de sus archivos referentes a la fisión nuclear, aunque no pudo deshacerse de algunos de ellos (tal vez porque eran muy valiosos para él), no logrando tampoco evitar que cayeran en manos alemanas. Lo que sí logró impedir fue la captura del agua pesada, que despachó rumbo a Gran Bretaña junto con dos colegas de su equipo: Lew Kowarski y Hans Von Halban.

Entre tanto, al otro lado del canal de la Mancha, el proyecto británico cobraba impulso gracias a un trabajo de Frisch (sobrino de Meitner) en el cual se concluía que 5 kg. de ^{235}U serían más que suficientes para liberar el poder equivalente a 1,800 Tn de explosivos convencionales. A sus conclusiones agregaban que el ^{235}U podría ser separado mediante el proceso antes visto de difusión térmica gaseosa a partir del gas de hexafluoruro de uranio; y por último agregaba un dato no mencionado hasta el momento que implicaba que la explosión produciría una radiación dañina, persistente y peligrosa para la vida. Considerando lo anterior, el mando británico constituyó un comité bajo el nombre clave *Maud*, por *Military Aplications of Uranium Detonation*, con base en los centros de investigación de Cambridge, Oxford, Birminham y Liverpool. Cockroft, Chadwick, Frisch, Halban, Kowarski y otros participaban en el equipo.

La diferencia sustancial existente entre el referido informe de Frisch respecto al de Heisenberg era que este último le había dado un carácter más bien científico a la investigación, mientras que Frisch hablaba ya de una aplicación práctica para la guerra.

La ciencia también daba sus frutos al otro lado del Atlántico. En la Universidad de California, Berkeley, dos científicos, Edwin McMillian y Philip Abelson, habían logrado detectar que luego del bombardeo del uranio con neutrones se producía un nuevo elemento químico que dieron en llamar Neptunio, en connotación con el próximo planeta luego de Urano. Lo interesante del ^{239}Np es que se trata de un elemento inestable que emite energía para alcanzar su estabilidad y, en poco tiempo, se transforma en otro elemento químico: Plutonio. McMillian y Abelson, sin embargo, no llegaron a detectar este último elemento, aunque sospechaban de su existencia. La noticia corrió del otro lado del océano y, tanto en Alemania como en Gran Bretaña, interpretaron que la fisión

también podría ser posible con estos nuevos elementos. Esto no era menor, pues separar los isótopos ^{235}U de ^{238}U con el fin de concentrar el ^{235}U, que es el fisil, era un problema no resuelto para la época. Sin embargo, separar dos elementos químicos distintos, sea por ejemplo el uranio del plutonio, era un tema bien conocido por cualquier químico medianamente prestigioso. Y la industria química, por cierto, era fuerte en Alemania y Gran Bretaña. Ahora bien, el problema radicaba en que para obtener el plutonio, se necesitaba primero bombardear uranio con neutrones y, para ello, había que diseñar un reactor.

Si bien estas fueron las principales sospechas sobre la existencia del plutonio, ésta aún no había sido verificada, hecho que, sumado a la necesidad de la construcción de un reactor previo, daba como resultado que lo más prudente sería continuar con la línea del ^{235}U, a fin de concentrar esfuerzos y recursos. Cabe destacar que el razonamiento en Norteamérica fue distinto. No descartaron la idea del ^{235}U, que incluso fue utilizado en Hiroshima, mas no abandonaron la línea del plutonio, a posteriori utilizado en Nagasaki y, a futuro, el explosivo utilizado en todas las bombas de fisión.

El comité *Maud* elaboró un informe final que elevó al almirantazgo, en el que enfatizaba la posibilidad de construir un artefacto nuclear explosivo y manifestaba, además, que el mismo podría ser obtenido hacia fines de 1943. Todos creían que el trabajo debía realizarse, independientemente de posibles vacilaciones morales. El documento incluía también detalles de construcción, cantidad de ^{235}U requerida, especificaciones de la planta de separación isotópica de uranio a ser construida, daños que causaría la bomba y, por supuesto, del esfuerzo económico involucrado.

A modo de ilustración, resulta interesante repasar algunas cuestiones planteadas en el informe. En primer lugar, se había subido de 5 a 40 kg. aproximadamente la cantidad mínima de ^{235}U requerido para la reacción auto sostenida; diferencia que obedecía a que no todos los neutrones producidos en la fisión engendraban nuevas fisiones, fenómeno que a su vez daba lugar al nacimiento de la noción de pérdida de algunos de ellos en el proceso. No obstante, esta pérdida podría ser subsanada con la colocación de un recubrimiento reflector que devolviera los neutrones al uranio.

Así las cosas, se decidió adoptar un total de 10 kg. como masa crítica, al que se dividió en dos partes separadas de 5 kg. cada una, a fin de evitar lo que se conoce como accidente de criticidad[5]. Luego, cada una de ellas debía unirse muy rápidamente, de forma tal que la masa combinada de 10 kg. de ^{235}U produzca, mediante la captura de los neutrones dispersos, un proceso de fisiones descontroladas con una liberación de energía equivalente a las 1,800 Tn de TNT. Aún más, este

[5] Incremento accidental de las reacciones de fisión que desencadena una liberación de radiación altamente nociva.

número había sido calculado con una eficiencia de sólo el 2%, es decir que todo se daba así si sólo reaccionaba el 2% del ^{235}U. Gran parte de lo referido anteriormente sería aplicado en Hiroshima, donde se utilizaron 60 kg. de ^{235}U, detonados por el método de disparo (para unir las partes muy rápidamente) con una eficiencia de sólo el 1%.

En segundo lugar, resulta relevante destacar que en el informe elaborado por el comité *Maud* se proponía el reemplazo del método de difusión térmica gaseosa, sumamente ineficiente y demandante de energía, por otro de difusión en membranas, cuyos fundamentos databan de fines del siglo XIX. Este proceso se basa en el hecho de suponer una membrana porosa lo suficientemente fina como para permitir el paso del ^{235}U e impedir el paso del ^{238}U, forzando el gas de hexafluoruro de uranio entre ambas[6]. Llamativamente, pese a que éste sería la base del futuro proyecto americano, fue desechado por el alto mando inglés. Se estima que la negativa se debió, en parte, a que demandaría un enorme esfuerzo económico con resultados aún inciertos, sumado a la consideración de que dichos esfuerzos serían más efectivos si se canalizaran en la industria convencional, que estaba avocada al suministro bélico. Por otro lado, la solución de la planta de difusión gaseosa por membranas no parecía óptima, pues al tonarla su magnitud difícil de ocultar, sería blanco fácil de los bombardeos alemanes. Finalmente, si bien el comité *Maud* no se disolvió en su totalidad, varios de sus miembros fueron relocalizados.

2. INTERÉS, PODER Y TEORÍA POLÍTICA: EE.UU. ENTRA EN CARRERA

Entre tanto, los norteamericanos no desechaban ninguna línea de investigación y claro está que corrían con grandes ventajas. Eran dueños de la mayor infraestructura industrial concebida, poseían un plantel científico fundado en los refugiados europeos y nutrido con personalidades propias y, si bien no estaban en guerra aún, cuando lo estuvieron, sus instalaciones nunca se vieron amenazadas, puesto que estaban muy lejos del teatro de operaciones.

Mientas Fermi y Szilard continuaban trabajando con el potencial uso del grafito como moderador ante una reacción con uranio natural, en Berkeley, el descubrimiento del neptunio alentó a Glenn Seaborg a investigar la línea del plutonio y, si bien pudo obtener cantidades muy pequeñas, éstas fueron suficientes para descubrir las propiedades físico-químicas del nuevo elemento. Luego de confirmada su existencia a principios de 1941, llegó, hacia mediados de año, la información que se suponía cierta. A saber, al igual que el uranio, el plutonio podría fisionar y liberar grandes cantidades de energía.

Por su parte, John Dunning, colega de Fermi en la Universidad de Columbia, se encontraba tras los pasos de la difusión térmica gaseosa y la de membranas. No obstante, Jesse Beams, de la

[6] Recordemos que el ^{238}U es más pesado.

Universidad de Virginia, postulaba un nuevo método para la separación consistente en el uso de centrífugas. Sin embargo, a ciencia cierta, no se trataba de un método original, sino que ya había sido empleado para separar isótopos de cloro, en tanto lo novedoso radicaba en la idea de emplearlo en el caso del uranio.

Por último, una quinta línea de investigación estaba trabajando con el agua pesada, en base a los informes de Halban y Kowarski, por si fallaba el grafito de Fermi. Al frente estaba Harold Urey, quien en 1932 había anunciado la existencia de un isótopo del hidrógeno con átomos el doble de pesados (deuterio), en una proporción 1/5000.

En suma, teníamos así, en un único lugar del mundo, la concentración de todas las líneas de investigación que habían sido conducidas en el viejo continente. Y fue en medio de todo esto que, hacia Julio de 1941, llegó una copia del informe *Maud*.

Roosevelt instituyó entonces el Consejo de Investigaciones en Defensa Nacional, al frente del cual colocó a James Conant, Rector de la Universidad de Harvard. Al grupo se sumaron Arthur Compton, premio Nobel de Física, y Ernest Lawrence, inventor norteamericano que, en 1930, había diseñado un tipo de acelerador de partículas llamado ciclotrón, que luego sería utilizado por Seaborg en sus experimentos con plutonio.

A Compton se le asignó la responsabilidad del plutonio, pero como éste sólo podía ser obtenido mediante un reactor nuclear, en la práctica, dependía de Fermi, quien estaba intentando lograr una reacción nuclear auto sostenida con uranio natural y grafito. Por otro lado, si Fermi tenía éxito, aún faltaba extraer el plutonio del uranio residual, tarea que había sido encomendada al químico Seaborg. Y después Compton tendría que juntar algo así como 1 kg. de plutonio para poder obtener una bomba que, si bien según el cronograma por él mismo propuesto estaría terminada en Enero de 1945, se logró unos meses más tarde, en Julio del mismo año.

Habiendo entrado formalmente en guerra los Estados Unidos el 7 de Diciembre de 1941, el 23 de Mayo de 1942, Conant y el plenario de su equipo se reunieron en Washington, donde concluyeron que habían: 1) dos tipos de explosivos, ^{235}U y ^{239}Pu; 2) tres métodos de separación para obtener ^{235}U; y 3) dos posibles tipos de reactores para obtener el plutonio (uranio + grafito) o (uranio + agua pesada). En suma, cinco caminos distintos para llegar a un explosivo. La pregunta que inmediatamente surgía era por cuál de ellos optar. Algunos preferían escoger el camino más rápido, lo que parecía bastante acertado ya que suponían (erróneamente) que los alemanes les llevaban unos años de delantera, a lo que se sumaba la existencia informes de inteligencia que hablaban de las armas secretas de Hitler. Otros opinaban, en cambio, que el rumbo a seguir debería ser el que asignara mayores probabilidades de éxito, independientemente de si fuese el más rápido o no.

La decisión a la que finalmente arribaron fue tan fantástica como paradójica: se recomendaría al Gobierno desarrollar las cinco vías. Y así fue como se ejecutó. No obstante ello, hacia Diciembre de 1942, el método de centrifugación terminó siendo descartado. Pues las centrífugas debían operar a gran velocidad y equilibrarse en su rotación con suma precisión, y la tecnología proporcionó esta solución recién muchos años después. También se descartó producir agua pesada; primero, porque el método de Fermi venía con buena proyección; segundo, porque llevaría demasiado tiempo; y tercero, porque se contaba con algunas reservas ubicadas en Canadá y con las existencias que Joliot había despachado a Gran Bretaña.

En cuanto a la etapa de producción, en ella se requería la incorporación de capacidades diferentes a las de los científicos involucrados en la experimental. Además, el proyecto debía mantenerse a resguardo. Conant puso entonces su atención en el Cuerpo de Ingenieros del Ejército norteamericano, que designó al coronel Leslie Groves, otrora responsable de la construcción del edificio del Pentágono en Washington, para comandar el plan conjunto, de nombre clave Proyecto Manhattan. El coronel estaba firmemente convencido de la responsabilidad de su tarea, quería fabricar las bombas y dotar al ejército de tal poder.

Una de las primeras acciones llevadas a cabo por Groves fue imponer el secreto sobre toda actividad que se encontrara bajo su órbita, incluyendo a los Aliados; lo que generó no pocas rispideces, incluso con el propio Churchill. Después de todo, el informe *Maud* había salido de la misma Londres.

Groves no sólo contaba con el apoyo político de Roosevelt, sino con amplios recursos económicos. En este sentido, otra de sus primeras acciones fue impulsar la construcción en Tennessee de dos plantas para la separación del ^{235}U. A costa de toda racionalidad industrial, las unidades se encontraban separadas por dos valles distintos, lo que permitía mantener la confidencialidad de lo que se hacía dentro de cada una de ellas. Se montó también una central energética así como las facilidades para una mini ciudad, instalaciones que precedieron al hoy famoso Centro Oak Ridge National Laboratory.

Cabe añadir que Groves saltó de la parte experimental a la escala industrial. Normalmente, cualquier descubrimiento de la ciencia de este tipo se realiza, primero, a escala de laboratorio; luego, pasa a la escala de planta piloto, y recién después de comprobados los sistemas, pasa a la escala de producción industrial. Pero según Groves, no había tiempo para todo esto y, además, confiaba en que alguna de las dos instancias funcionaría.

La idea directriz era tomar uranio natural, cuyo contenido, recordemos, tiene 0.7% del ^{235}U, y conseguir a partir de él ^{235}U al 90%[7], que era lo que los diseñadores de la bomba deseaban inicialmente.

Una de las plantas estaba concebida para producir en dos etapas. En la primera, de nombre alfa, se llegaría a un enriquecimiento del orden del 15%, y en la segunda o beta, se llegaría al 90%. Como es de suponer, quedaba una gran cantidad de ^{238}U "inservible" que debía ser retirado. Este uranio, ya despojado de su isótopo fisil, era denominado "empobrecido". La facilidad se denominó Y-12, y empleaba un método de separación electromagnética distinto al de difusión.

La otra planta, que perseguía el proceso de difusión gaseosa, lidiaba con el método para obtener las membranas porosas que permitan separar los isótopos del uranio debido a su diferente masa. Los miles de millones de poros debían ser microscópicos y uniformes, ya que una pequeña diferencia o agujero podía entorpecer el proceso, tal como sucede cuando se sumerge un saco de té para obtener una infusión. Por otro lado, había que ejercer una presión para obligar a pasar al hexafluoruro de un lado a otro, y la membrana debía soportar dicha presión. A esta facilidad se la denominó K-25.

Contrariamente a las expectativas de su impulsor, el comportamiento de ambas plantas resultó muy frustrante. Decenas de millones de dólares invertidos no estaban ni cerca de dar los frutos esperados. Tal fue la desesperación que Groves tuvo que dar marcha atrás con el escudo del secreto que él mismo había montado y convocar a científicos ingleses para que se acoplaran al proyecto. Fue así que la solución de las membranas, a fin de cuentas, vino de la mano del polvo de níquel ultra puro fabricado en Gales. No obstante, pese a algunos resultados positivos, a principios de 1944 predominaba el fracaso.

Por obra de la casualidad, Groves, miembro del Ejército, se enteró que la Armada contaba con una línea de investigación abierta que continuaba con el proceso de difusión térmica gaseosa de los alemanes. La Marina ya tenía la presunción del potencial uso de la energía nuclear en la propulsión de naves, motivo por el cual financió un laboratorio de investigaciones navales en Filadelfia y confió en poder comenzar a fabricar material enriquecido hacia mediados de 1944, proyecto al que se denominó S-50.

Así las cosas, hacia principios de 1945, Groves contaba con tres plantas de producción que, aunque incompletas y no fiables, mejoraban paulatinamente y resultaban en diverso grado, enriquecedoras.

[7] Se denomina "enriquecimiento" al proceso que varía la proporción de ^{235}U desde lo que existe en la naturaleza hasta cualquier otro valor deseado. Normalmente, los reactores comerciales operan al 0.85% de enriquecimiento; los reactores de investigación actuales al 20%; y el 90% ya es plausible de usos militares.

Si bien la historia no dice a quién se le ocurrió la idea de, en lugar de alimentar cada planta con uranio natural, hacerlo con el producto enriquecido de la otra, de forma tal de acoplar en tándem a la S-50, la Y-12 y la K-25, fue así como, después de procesar decenas de toneladas de uranio natural, se obtuvieron los 60 kg. necesarios para Hiroshima. Una vez finalizada la guerra, se consolidó el proceso de la K-25, es decir, el de la difusión térmica por membranas, producto de su simplicidad y economía frente a los otros dos.

Entre tanto, en Chicago y también bajo el ala de Groves, Fermi y sus colaboradores continuaban trabajando con el uranio natural y el grafito, desconociendo por completo lo que estaba sucediendo en Tennessee. El científico italiano perseguía el objetivo de construir un reactor nuclear que permitiera controlar la reacción de fisión y, de ese modo, llegar a regular la energía producida. Para ello, se valió de la disposición reticular con bloques de grafito, intercalando cajas metálicas rellenas con óxido de uranio, dando forma a un cubo. Pero cada experimento resultaba en un fracaso. Pues el valor de multiplicación de K, que debía ser mayor a la unidad, oscilaba entre 0.85 y 0.95; lo cual indicaba que se consumían más neutrones de los que se generaban y, por tanto, no podía haber reacción auto sostenida.

Luego de varios intentos frustrados, se decidió probar con uranio metálico, en vez del óxido de uranio. Esto implicaba refinar el uranio provisto por la naturaleza, extrayéndole por medios físico-químicos las impurezas. En paralelo, se realizó el mismo proceso con el grafito, llegando a obtener la máxima pureza posible.

Con dichos ingredientes se inició la construcción de la nueva estructura crítica en un antiguo terreno situado bajo un campo de fútbol en Chicago. Si bien existía la alternativa de trasladar la infraestructura a un lugar más despoblado, lo que hubiese resultado lógico desde el punto de vista de la seguridad, el apremio que tenían los norteamericanos resultaba prioritario. Si el reactor funcionaba, se podría obtener plutonio para el artefacto explosivo y, con ello, evitar el engorroso proceso de enriquecimiento del uranio.

Todo reactor, inclusive los de la actualidad, se basa en un problema de economía de neutrones. Con lo cual, si se quería controlar la reacción, se debía tener algún modo de controlar los neutrones. En este sentido, el elemento químico cadmio había resultado eficiente como absorbedor de dichas partículas subatómicas, por lo que su presencia frena la reacción. A veces se quiere detener la reacción, particularmente cuando el factor K es superior a uno, a fin de no tener una liberación descontrolada de neutrones que desencadenen fisiones. Otras veces, en cambio, se busca favorecer la reacción de fisión, siendo para ello necesario que en el reactor no se encuentren materiales absorbedores. El artilugio tecnológico que se decidió emplear para tal corrección fue una barra, una especie de bastón de madera, que tenía incrustado cadmio. Esta varilla era móvil y se encontraba totalmente insertada en el centro del reactor. En la parte superior, y a modo de prevención si algo se salía de control, había un hombre con un hacha que cortaría

una soga que, a su vez, sostenía una solución de cadmio que se derramaría sobre el reactor. Este ingenioso y temerario sistema de seguridad, del cual dependía la detención de una explosión masiva, pasó a la historia con el nombre de SCRAM (S*hort Cut Rope Axle Man*). Hoy en día es común designar en la jerga técnica como scram a cualquier acto que detiene de inmediato y en forma total la operación; generalmente, se encuentra señalizado con un botón rojo bien visible y notablemente superior en tamaño a los otros, ubicados en el mismo tablero de control.

El 2 de Diciembre de 1942, Fermi reunió a su equipo y a un comité de científicos e inició su experimento. Ordenó comenzar con la extracción de la barra de control de cadmio, paso a paso, a la vez que medía el factor K. Alrededor de las tres de la tarde, la señal que enviaban los detectores de actividad neutrónica confirmó que la reacción estaba auto mantenida. La primera reacción en cadena había sido lograda y, consecuentemente, la liberación controlada de energía nuclear era un hecho.

El reactor de Fermi, al que se llamó CP-1, produjo exaltación entre los presentes así como también dudas sobre si los alemanes lo habían logrado primero. Luego, el CP-1 se desmontó y se construyó el CP-2 esta vez sí fuera de Chicago, en la zona de Argone Forest; reactor que sería precursor del National Argone Laboratory, meca de la física nuclear durante muchos años.

Lo primero que se concluyó fue que se necesitaba un reactor más grande. Pero claro está que, en tanto eliminaba energía en forma de calor, hacer uno de mayor tamaño implicaba a su vez diseñar un circuito de refrigeración para el mismo. A esta altura, había tres posibilidades distintas para el refrigerante: que fuese agua, que fuese helio o que fuese bismuto líquido.

Groves, que era una persona práctica, no estaba dispuesto a enredarse en las discusiones filosóficas con los científicos. No había tiempo para tanto análisis. Fue así como decidió introducir a la empresa Du Pont, asignándole la tarea de resolver en escala industrial el tema del plutonio, decisión que generó descontento en la comunidad científica.

Du Pont debía construir plantas piloto que incluyan un reactor, y al menos una o dos plantas de separación química. En cuanto a la ubicación, se seleccionó la localidad de Hanford. Como refrigerante se eligió, en principio, agua natural; y paralelamente se le asignó a un grupo de científicos conducidos por Compton y su equipo la tarea de estudiar las propiedades del agua pesada, con el mismo fin. Entre tanto, Seaborg no tenía prejuicio alguno de trabajar con Du Pont, de hecho, se llevaron muy bien desde el comienzo.

Du Pont construyó la primera planta piloto en Oak Ridge durante 1943. Era lo más simple y sencillo que se podía concebir con el objeto de ensayar una futura escala de producción industrial. El reactor, muy similar al de Fermi pero de mayor tamaño, tenía una potencia de un megavatio, lo que suponía la producción de un gramo de plutonio por día. Comenzó a funcionar el 4 de

Noviembre de 1943 y despachó hacia la planta química su primera carga de uranio irradiado a fines del mismo año.

La planta química era muy distinta a cualquier otra. Primero, porque los materiales a tratar eran altamente radiactivos; segundo, porque eran tóxicos. Para poder brindar una protección efectiva contra las radiaciones había que construir una sólida protección de hormigón y vidrio plomado, a la vez que todo movimiento debía ser tele-manipulado a distancia[8]. Cuando el plutonio era separado y se encontraba lo suficientemente puro, se trasladaba a otro laboratorio con grandes precauciones debido a su alta toxicidad. En este último lugar se lo transformaba en nitrato de plutonio sólido, apropiado para su transporte.

Con los resultados positivos de la planta piloto, se procedió a la construcción industrial en Hanford. El proyecto constaba de tres reactores de 200 MW de potencia cada uno, refrigerados por agua, y tres plantas de separación química independientes entre sí y separadas por una distancia importante. El movimiento fue realmente colosal. Cincuenta y cinco mil personas trabajando. Ni hablar de los recursos económicos invertidos.

Antes de fines de Enero de 1945 el plutonio se producía en cantidades cada vez mayores y ya en el verano de ese mismo año se tenía la masa crítica necesaria para la futura bomba de Nagasaki.

Ahora bien, el uranio enriquecido y el plutonio eran sólo la materia prima para el explosivo nuclear. Aún faltaba diseñar y ensayar el artefacto propiamente dicho, tarea para la cual se necesitaban tres equipos distintos de especialistas. A saber, matemáticos para los cálculos, geo metristas para el diseño de la bomba y expertos en explosivos. Un joven y promisorio físico nuclear de Berkeley, Robert Oppenheimer, fue puesto al mando del grupo por sugerencia de Compton. Junto a él se encontraba otro húngaro, Edward Teller. Ambos eran conscientes de la energía que podía ser liberada a través de la fisión; sin embargo, sus estudios estaban más bien orientados al proceso de fusión[9].

Groves quiso que la parte más delicada del Proyecto Manhattan estuviese localizada en una zona aislada. En consecuencia, el lugar elegido para el trabajo del equipo de Oppenheimer fue la zona de Los Álamos, una región de volcanes extinguidos, de difícil acceso, a más de 50 km. del centro habitado de Santa Fe. Así, hacia fines de 1943 y en paralelo con los otros proyectos, se

[8] En capítulos posteriores nos detendremos más sobre este proceso.

[9] En la fisión perseguimos la idea de que la ruptura de átomos pesados, como el uranio, libera energía. En la fusión, en cambio, es la unión entre átomos livianos, como el hidrógeno, lo que produce la energía. Es la misma energía que hay en el interior de las estrellas y el proceso responsable del calor generado por nuestro sol. Pero para lograr la fusión hay que obtener temperaturas muy altas. Teller, particularmente, pensó en obtener tales temperaturas mediante la explosión previa de un artefacto de fisión. Este fue el comienzo de la bomba de hidrógeno o bomba H, que fue desarrollada después de la guerra.

comenzaron a construir laboratorios, talleres y oficinas en una ladera de la meseta de Los Álamos. En tanto en la otra ladera se establecieron viviendas, comercios y lugares de esparcimiento. Toda la zona estaba cercada con alambrada y bajo custodia. Los habitantes del lugar, por su parte, se hallaban bajo rigurosas restricciones, tanto en sus viajes como en su correspondencia y contacto con el exterior.

El reclutamiento de científicos resultó una tarea por demás trabajosa. Se necesitaba a los mejores y en muchas áreas. Además, se les solicitaba trabajar en secreto, en sectores compartimentados, sin poder dialogar con sus colegas[10]. Si estaban abocados a otro tema, se les pedía abandonar la línea de investigación y acoplarse bajo las órdenes de Oppenheimer. Algunos científicos de primera fila llegaron desde la Gran Bretaña, como Klaus Fuchs. Él mismo y un estadounidense, David Greenglass, serían quienes revelaran los secretos de Los Álamos a la Unión Soviética.

Fuchs era un refugiado alemán que se había vinculado con el comunismo cuando todavía era un estudiante, en la Alemania de la década del '30. Este excelente matemático y físico comenzó a trabajar en Birmingham, Inglaterra, y desde allí, manteniendo la apariencia de una vida tranquila y dedicada al trabajo, empezó a pasar información a los soviéticos. Luego, Klaus fue enviado a Los Álamos y, hacia principios de 1945, se puso en contacto con Harry Gold, un estadounidense colaborador de los rusos. Por su competencia, participó en varias de las líneas críticas del Proyecto. Se cree que preparó dos informes exhaustivos, detallados y con documentación técnica. El primero, sobre los trabajos en los laboratorios de Los Álamos; el segundo, sobre la bomba de plutonio.

Pero Fuchs no actuó sólo. Había ya una amplia red de espías atómicos trabajando para la inteligencia soviética, tanto en Inglaterra como en EE.UU. Tal es el caso de los mencionados Harry Gold y David Greenglass; Morris Cohen; Allan Nunn May; el matrimonio Rosenberg y George Koval, entre otros. Muchos fueron descubiertos, entre ellos Fuchs (cuando la contrainteligencia norteamericana logró descifrar códigos secretos rusos, bajo el Proyecto Verona, en 1950); algunos fueron delatados; y otros simplemente nunca fueron descubiertos, como el caso de George Koval, cuya historia póstuma salió a la luz recién en 2007.

No se sabe a ciencia cierta cuál fue el grado de avance que Klaus proporcionó a los soviéticos. Sin embargo, diversos autores coinciden en que ciertamente les ahorró mucho tiempo, orientó sus trabajos hacia resultados seguros y les facilitó la realización de un esfuerzo económico mínimo en comparación con el de los norteamericanos. Luego de la guerra, Groves elaboró un escrito muy

[10] Oppenheimer, ante el estancamiento de la solución a algunos problemas, solicitó a Groves poder realizar discusiones libres sobre algunos puntos importantes. Groves lo concedió, aunque más tarde se lamentó de ello.

duro con los británicos, a quienes apuntaba por no haber previsto la labor de Fuchs. Lo cierto es que la invulnerabilidad presunta del Proyecto Manhattan había fallado.

Niels Bohr también estaba en Los Álamos bajo un seudónimo, tras haber huido de Dinamarca en 1943. Bohr, el creador del modelo atómico, sabía que el Proyecto Manhattan iba a funcionar. Sin embargo, su preocupación por el día después lo llevó a tratar en numerosas visitas de reunirse con Roosevelt, quien supo escucharlo, a diferencia de Churchill, por quien fue desdeñado.

Entre tanto, en Los Álamos, los expertos en geometría y explosivos intentaban dar con la clave de cómo juntar la masa crítica sin producir una pre-detonación. El método del disparo de las dos masas de 5 kg. cada una parecía acertado en el caso del uranio enriquecido pero no se verificaba para el plutonio. Hacia mediados de 1943, surgió la idea de rodear una esfera hueca de plutonio con los materiales explosivos de forma tal que, al ser detonados, lo expulsen hacia el centro de la esfera, produciéndose allí la concentración de la masa crítica. Presumiblemente, este procedimiento, denominado método de implosión, surgió luego de rodear una naranja con la mano y comprimirla para extraer sus jugos. La desventaja que presentaba era que al momento no se sabía cómo hacer para lograr las explosiones simultáneas de los explosivos convencionales que dirigieran sincrónicamente toda la masa crítica al centro.

La solución provino de una combinación de explosivos ordinarios, lentos y rápidos, alrededor de la esfera de plutonio, hacia finales de 1944. La esfera había sido la geometría más acertada debido al escaso escape de neutrones que sugiere su figura. Por otro lado, y en el hipotético caso de que la multiplicación de neutrones fallase, se colocó un iniciador de neutrones, que no era ni más ni menos que dos materiales, Berilio y Polonio, que al ser mezclados liberan estas partículas. Ciertamente, en torno a la bomba de plutonio aún había muchas dudas y dispositivos por probar.

Groves y Conant sabían que para Agosto de 1945 podían contar con suficiente uranio enriquecido como para construir una bomba equivalente a 10,000 Tn de TNT, pero no podían realizar pruebas previas que consumiesen el preciado y escaso ^{235}U. Además, sólo probablemente podrían disponer de un artefacto para todo ese año. Respecto al caso del plutonio la situación era distinta y hasta opuesta ya que, pese a que se conocía menos desde el punto de vista teórico, se podría disponer de material fisil en exceso. Si funcionaban los reactores, varias de ellas con equivalentes a 5,000 Tn de TNT por unidad podrían ser ensambladas.

En consecuencia, en el caso del plutonio se decidió realizar una prueba en el desierto de Los Álamos, bajo el nombre-código Trinity. Se armaron entonces dos artefactos explosivos. El primero de ellos fue bautizado Little Boy, hecho con el ^{235}U y basado en el método de disparo. El segundo, llamado Fat Man, fue producido con el plutonio de Hanford y basado en el método de la implosión. Su peso, 4 Tn y 4.5 Tn respectivamente.

Trinity se llevó a cabo el 16 de Julio de 1945, con los observadores situados a 10 km. del lugar. Fue un éxito que superó todas las previsiones. La energía liberada fue varias veces superior a la máxima estimada en los cálculos previos. Una colosal luz brillante de varios colores cegó por instantes la visión de los absortos presentes, al tiempo que pasados 30 segundos de la explosión sentían el calor de la onda de choque y sus oídos experimentaban la estridencia de mil truenos. Hubo un ambiente de júbilo.

Si pensamos que gran parte de los descubrimientos originales, germinativos, que permitieron construir un artefacto nuclear se habían dado en Europa, es dable preguntarse qué estaba aconteciendo en el Viejo Continente, particularmente en Alemania, mientras los norteamericanos avanzaban consistentemente. En este punto, varios aspectos deben ser considerados. En primer lugar, los alemanes nunca llegaron a tener una mínima sospecha sobre el avance de los Aliados en el tema. Es más, siempre supusieron que estaban a la delantera, tal como se expresa en el hecho de que, cuando diez de sus más importantes científicos, entre los que se encontraba Heisenberg, fueron detenidos por los norteamericanos en Baviera intentaron intercambiar sus conocimientos avanzados sobre el tema del uranio por mejoras en su condición de vida. Irónicamente, no se les podía poner al tanto de la situación real. Fueron trasladados a Gran Bretaña y, un mes después, Hiroshima acabó con su torre de Babel.

En segundo lugar, las purgas y los exilios de numerosos y valiosos científicos habían logrado menguar contundentemente las capacidades de sus centros de investigación. Simplemente repasemos la cantidad de científicos extranjeros que enriquecieron el Proyecto Manhattan.

Tercero, no había un liderazgo unificado del Proyecto. Si bien Heisenberg se destacaba por sus logros, no era el único con línea directa a la cúpula del nazismo. Por otra parte, el fin que perseguía era más bien científico, la ambición del conocimiento por el conocimiento en sí, y su objetivo estaba puesto en el reactor, no en el explosivo. Contrariamente, a principios de 1940, Manfred Von Ardenne, otro promisorio investigador, se dirigió al mismísimo Ministro de Comunicaciones del régimen con la idea para enriquecer uranio. Pero como en ese verano la guerra parecía cosa sencilla para Alemania, no hubo interés y finalmente, cinco años más tarde, los rusos se hicieron de Von Ardenne, quien junto a sus colegas lograría las primeras partidas de uranio enriquecido para los soviéticos.

Veintidós experimentos con diferentes tipos de uranio y moderador fueron llevados a cabo por los alemanes en tres sitios distintos: Berlín, Leipzig y Gottow. De todos ellos, Heisemberg dirigió diez. En Marzo de 1942, se ensayó en Leipzig un experimento crítico con uranio metálico y agua pesada que demostró un factor de multiplicación de neutrones justo por encima de la unidad, resultado que demostraba que se estaba logrando una reacción auto sostenida. Heisenberg calculó que, aumentando las proporciones del uranio y del agua pesada, se tendría un reactor.

Efectivamente, estaba en lo cierto. Lo notable es que esto sucedía meses antes de los experimentos cruciales de Fermi en Estados Unidos.

Albert Speer, Ministro de Armamento de Hitler, tuvo conocimiento de los resultados de Heisenberg en Junio de 1942. Es muy probable que durante la reunión Heisemberg haya referido que una bomba era posible, pero también que el plazo para concretarla sería de varios años.

Hitler había ordenado concentrar los esfuerzos en los proyectos que pudieran producir resultados militares inmediatos. La Operación Barbarroja, la invasión de Rusia por el Eje, ya había fracasado y ahora se enfrentaba al mayor poder conjunto de toda Europa: el Ejército Rojo, cuyo ariete no radicaba en las armas sino en su compromiso y determinación. En este contexto, Speer autorizó partidas presupuestarias para que Heisenberg continuara con su trabajo pero, en vistas a las órdenes de Hitler, no le ofreció apoyo total. Otro científico, Werner Von Braun, padre de las famosas bombas voladoras V1 y V2[11], también estaba ávido de fondos.

Los alemanes enfrentaban un cuarto problema. Aunque habían llegado a producir uranio metálico libre de impurezas a partir del óxido de uranio ubicado en la naturaleza, estaban en un camino más complicado con el moderador. Los franceses se habían llevado las principales reservas de agua pesada, por lo que necesitaban si o si de la planta de Noruega. La localidad de Rjukan donde estaba ubicada resistió largamente hasta Mayo de 1940. Luego, varios comandos británicos sabotearon la planta hasta que los bombardeos norteamericanos acabaron definitivamente con ella a fines de 1943.

Ciertamente, haber privado a los alemanes del agua pesada evitó que desarrollaran un reactor nuclear. Ahora, de allí a aventurar que podrían haber desarrollado un artefacto explosivo es demasiado prematuro.

En la medida que el avance de los Aliados se consolidaba en Europa, decidieron enviar a un reducido grupo de científicos espías para cerciorarse sobre la situación del programa alemán. Al frente del equipo se encontraba un holandés, S. Goudsmit, físico atómico que desconocía en su totalidad el Proyecto Manhattan pero que ya hacia fines de 1944 tuvo la certeza de que éste sólo se encontraba en un nivel académico.

A principios de 1945, Heisenberg tenía listo lo que sería su último experimento. Pero con el Ejército Rojo aproximándose inexorablemente a Berlín, los alemanes decidieron desmontar los componentes y trasladarlos a Haigerloch, en una cueva entre las rocas. Lo cierto es que con algunas cantidades extras de agua pesada el experimento habría resultado exitoso.

[11] La letra “V” corresponde a *Vergeltungswaffe*, traducido represalia o venganza.

No obstante, Haigerloch cayó y con él, el último vestigio del programa alemán. Si bien dicho municipio se encontraba en la zona asignada a los franceses, los primeros en entrar fueron los estadounidenses. Groves ordenó entonces volar la cueva. Claramente, no iba a dejar que Joliot, el más prominente investigador nuclear francés, se hiciera del equipo y de la documentación. Ordenó también reclutar a todos los científicos alemanes. Los rusos hicieron lo propio cuando penetraron en Berlín.

Terminada la guerra en Europa, el teatro de operaciones se trasladó al Pacífico, pero ciertamente, después de la tragedia de Okinawa, el imperio nipón no tenía chance alguna de salir airoso en la contienda. Fue ésta la única parte del territorio del imperio donde se enfrentaron cara a cara las tropas de ambos bandos. Adicional a los efectivos militares, hubo más de 150,000 civiles. La isla de Okinawa permaneció bajo control estadounidense hasta 1972, fecha en la cual se firmó el tratado de seguridad entre ambas naciones. Sin embargo, como en muchos otros sitios ocupados, Estados Unidos mantiene allí presencia militar y una base aérea.

Harry S. Truman presidía ahora los Estados Unidos. Había sucedido a Franklin Roosevelt, fallecido en abril de 1945 de una hemorragia cerebral masiva. Truman supo del éxito de Trinity cuando se encontraba en Potsdam. En la conferencia, se dirigió jactanciosamente a Stalin y le informó que los Estados Unidos poseían un arma nueva y poderosa. El líder de la URSS, con cara inmutable, le aconsejó hacer un buen uso de ella. Lo que Truman no sabía en ese entonces era que Stalin ya sabía.

El presidente de los EE.UU. creó un Comité Provisional para que lo asesore, el cual estaba conformado por los máximos responsables científicos del Proyecto Manhattan (Compton, Fermi, Lawrence y Oppenheimer, entre otros) mientras que, por el lado militar, contaba con la presencia de Groves. Este último no quería que la guerra concluyera sin haber arrojado las bombas sobre Japón. Ciertamente, quería refrendar su éxito y no era partidario de arrojarlas en cualquier lugar, de hecho, fue él mismo quien sugirió Kyoto como primer blanco. Dicha ciudad había sido capital de Japón por once siglos, y era muy valiosa para la tradición religiosa y cultural del imperio, de modo que su destrucción hubiese sido una profunda herida para el nacionalismo japonés. Pero Groves no tenía miramientos y una y otra vez trató de incluirla en la lista de blancos. Si Kyoto se salvó fue gracias al Secretario de Guerra de Truman, Henry Stimson, que una y otra vez la sacó de la lista.

El Comité recomendó unánimemente que se lanzara, sin aviso previo, sobre Japón el artefacto explosivo. Truman finalmente dio la orden el 24 de Julio. La primera ciudad en la lista era Hiroshima, base de logística menor para el ejército japonés y de relativamente escasa importancia militar. No obstante, reunía ciertos requisitos que el Comité Provisional, con Oppenheimer y Groves a la cabeza, había establecido como factores claves de éxito. Primero, que se tratase de una importante área urbana (se estima que para la fecha del ataque había allí más de 250,000

habitantes). Segundo, que la explosión causase un daño efectivo; y tercero, que se tratase de una ciudad aún no bombardeada por la aviación de los Estados Unidos. Los dos primeros factores estaban direccionados a obtener el mayor efecto psicológico posible en contra del Japón. El tercero apuntaba a hacer un primer uso lo suficientemente espectacular como para que fuera resonante en términos de prensa internacional.

El centro de Hiroshima contaba con algunas estructuras de hormigón. Sin embargo, las casas de los habitantes eran normalmente de madera, con pisos de teja, al igual que algunos talleres y edificios industriales. En consecuencia, toda la ciudad era altamente susceptible a los incendios.

Dadas condiciones climáticas adversas, recién el 6 de Agosto pudieron partir los tres bombarderos B-29 con destino al blanco. Dos de ellos eran de observación y el tercero llevaba a *Little Boy*, la bomba de uranio. A las 08:15 am de aquel día, la bomba explotó a 600 metros por encima de la ciudad[12], detonando justo sobre un hospital, aunque el blanco no era ese sino el puente que se encontraba a 250 metros de allí. El explosivo equivalió a 15,000 Tn de TNT y se estima que la temperatura se elevó más de un millón de grados centígrados, creando una bola de fuego de 250 metros de diámetro.

Cuantificar los daños resulta aún hoy tarea compleja. Las estimaciones hablan de 80,000 víctimas fatales instantáneas[13] (30% de la población), más de 70,000 heridos, 75% de las estructuras destruidas o seriamente dañadas, y 12 km^2 incendiados. Hacia 1976, el Ayuntamiento de Hiroshima suministró al Secretario General de la ONU la cifra *definitiva* de víctimas (140,000 personas). En 1996, las ruinas cercanas a la zona cero fueron declaradas Patrimonio de la Humanidad, con la protesta de Estados Unidos.

El mismo día del ataque, Truman pronunció un altísono discurso amenazando con destruir completamente Japón. "*Algo nunca visto hasta ahora sobre la tierra*"[14].

Sin tiempo a reacción, el 9 de Agosto (tres días después de Hiroshima), partió otro B-29 con *Fat Man*, la bomba de plutonio. Su destino era Kokura mas la ciudad estaba cubierta de nubes. Y así, después de realizar tres pasadas inútiles, el B-29 y los aviones de observación tomaron destino a Nagasaki. El artefacto explotó a las 11:02 am, a 470 metros de altura, produciendo una energía de destrucción equivalente a 22,000 Tn de TNT. Se estima que perecieron 80,000 personas. Si bien el potencial de destrucción era teóricamente mayor, la topografía del lugar ayudó a que *sólo* un

[12] Esto es adrede, para lograr el mayor daño por las ondas de choque que se concentran hacia abajo y hacia los costados.

[13] Se considera que los bombardeos aliados, con bombas convencionales e incendiarias, sobre Hamburgo y Tokio causaron igual número de víctimas civiles que Hiroshima. Lo notable es que, en este último caso, había sido producido con una sola bomba.

[14] Discurso de Harry Truman 06/08/45.

40% quedase en ruinas. Ese mismo día, pero de madrugada, la Unión Soviética invadía Manchuria.

La justificación ética de los ataques es un debate que no puede resolverse con una simple lectura de los acontecimientos, sino que necesita sustentarse en el interior mismo del ser humano, pero ¿cuáles son los factores que determinan la moralidad? ¿El fin justifica los medios? ¿Y si de todas formas… el fin ya estaba anunciado?

Lo cierto es que ni Hiroshima ni Nagasaki tenían valor militar. No menos cierto es que una demostración del poder descubierto podría haber sido resuelta sin exponer a víctimas civiles. En tanto, en el trasfondo de la cuestión Japón aparece como la primera víctima del enfrentamiento futuro entre la Unión de las Repúblicas Socialistas Soviéticas y los Estados Unidos de Norteamérica.

3. EL FIN DE LA UNIPOLARIDAD Y LA AUTOLEGITIMIZACIÓN DEL PODER DE VETO EN EL CONSEJO DE SEGURIDAD

Cuando las armas nucleares aún dominaban la escena, se produjo un hecho mayor que tomó por total sorpresa a Occidente.

El 29 de Agosto de 1949 la Unión Soviética detonó en Semipalatinsk, región de Kazakstán, su artefacto atómico, produciendo una explosión equivalente a 21,000 Tn de TNT[15]. Este episodio significó un duro golpe tanto para los estadounidenses, quienes no habían previsto perder su monopolio en forma tan temprana, como para los británicos, que ya estaban anotados para ser los segundos en poseer el arma.

Los científicos soviéticos habían conseguido el control sobre la reacción en cadena en la Navidad de 1946 y, dos años después, comenzaron la producción de plutonio. Además, habían construido un complejo de laboratorios y ensamblaje de explosivos en la región Arzamas-16 (hoy Sarov), que estuvo cerrada tanto a extranjeros como a los propios rusos durante décadas. Arzamas[16] era a Rusia lo que Los Álamos a Estados Unidos.

Poco tiempo después de la explosión fue detenido Klaus Fuchs, aparentemente delatado por Igor Gouzenko, un oficial de la embajada soviética en Canadá.

[15] En Occidente, el artefacto se conoció como José I, aunque para los soviéticos se trataba de la RDS-1 (*Rossiya Delayet Sama*: Rusia lo hace sola). Todos los desarrollos posteriores continuaron manteniendo la sigla pero variaron sucesivamente en numeración.

[16] Sólo se accedía por una línea férrea bajo estrictas medidas de seguridad.

En tanto, como se ha anticipado, hacia 1946, los británicos construían en Harwell un Centro de Investigaciones Atómicas bajo la dirección de Cockcroft. Resulta paradójico que Harwell no haya contado con el apoyo de los norteamericanos, que habían decidido no compartir sus avances ni siquiera con los mismos británicos, quienes les habían mostrado el camino con el informe *Maud*. En paralelo a dicho Centro, construyeron en Sellafield los reactores para producir plutonio y una planta química para separarlo del combustible agotado. Cabe destacar que el equipo inglés estaba constituido por muchos científicos que habían estado en Los Álamos, Hanford y/u Oak Ridge y que, al finalizar la guerra, retornaron a Europa. De hecho, el propio Klaus Fuchs fue detenido en Gran Bretaña, mientras se encontraba al frente del Departamento de Física de Harwell.

Los británicos detonaron su primer artefacto atómico, cuyo poder equivalente fue de 25,000 Tn. de TNT, el 3 de Octubre de 1952, en las proximidades de la isla de Trimouille, archipiélago coralino, a menos de 100 km. de la costa Australiana.

Entretanto, también Francia se sumaría a la carrera atómica. Así, el 18 de Octubre de 1945, Charles de Gaulle creó el Comisariado de Energía Atómica con un doble propósito. En primer lugar, dotar al país de sus propios explosivos atómicos; y en segundo lugar -y por sobre todo-, proporcionarle una fuente de energía alternativa, ya que la nación dependía fuertemente de recursos externos[17].

En el equipo estaba el mismísimo Joliot, que contaba con compuestos de uranio que habían sido ocultados a los alemanes así como con el agua pesada de la planta de Noruega. El 15 de Diciembre de 1948 el reactor francés logró su régimen crítico, es decir, con reacción auto sostenida. Sin embargo, Joliot se había afiliado al Partido Comunista y en el Congreso Nacional de 1950 afirmó rehusarse a construir un artefacto explosivo. Esto significaba un claro desafío a la autoridad del gobierno, motivo por el cual en Abril de ese año fue apartado del Comisariado.

La década del ‘50 fue particularmente complicada para Francia. A la inestabilidad interna y a los problemas económicos, se le sumaban derrotas militares y pérdidas de áreas de influencia de su pasado colonial.

En África, Gamal Nasser fomentaba una revolución pan-árabe liderada por Egipto que amenazaba los intereses británicos, franceses[18] e israelíes. Su plan de gobierno se orientaba a desarrollar la incipiente industria del país que presidía, y para ello necesitaba de la energía proveniente de Asuán[19]. El 26 de Julio de 1956 Nasser anunció sus planes para nacionalizar el Canal de Suez, a

[17] Francia es hoy el país con mayor proporción de energía eléctrica de origen nuclear del mundo. 75% de su suministro tiene esta naturaleza, al tiempo que exporta, principalmente a Italia.

[18] Francia tenía colonias en Argelia, Marruecos y Túnez.

[19] Al momento del proyecto, Asuán era la mayor represa hidroeléctrica del mundo. Nasser necesitaba fondos y coqueteó con los Estados Unidos y la Unión Soviética en busca de ellos. Más tarde, decidiría

los que se sucedió una escalada bélica con ambas potencias europeas y la invasión del Sinaí por parte de las fuerzas israelíes. Sin embargo, ni los Estados Unidos ni la Unión Soviética deseaban verse envueltos en el conflicto, y fue así como las Naciones Unidas dictaminaron el cese de las hostilidades y el retiro de las tropas francesas, británicas e israelíes[20]. Para los franceses, esto significó una inadmisible humillación.

Paralelamente, en el continente asiático, la derrota en Dien Bien Phu era inminente. Acorraladas las tropas francesas en Indochina por Ho Chi Minh, solicitaron a los ingleses ayuda para comprar materiales, fundamentalmente plutonio. Sin embargo, antes ni siquiera de que llegara la respuesta británica, fueron barridas del sudeste asiático.

Pese a que se cree que los ingleses realizaron la exportación solicitada, los franceses, en un acuerdo secreto con los israelíes en 1956, comenzaron a construir en Dimona (desierto de Negev - Israel) un reactor y una planta de reprocesamiento para la extracción de plutonio. Francia proveía la tecnología, Israel la financiación y ambos aprovechaban los resultados. El 13 de Febrero de 1960, en el desierto de Sahara, hoy Argelia, Francia hizo su primera explosión. 70,000 Tn. de TNT equivalentes.

En cuanto a China, el presidente Mao Zedong creyó que su nación nunca sería tomada en serio si no contaba con un dispositivo nuclear disuasivo. Así, durante el comienzo de las idílicas relaciones con los soviéticos, La República Popular China recibió una gran cantidad de equipos, sumado a un fluido intercambio de asesores, e incluso un reactor experimental y una planta de reprocesamiento.

Hacia mediados de la década del ‘50, Mao debió asumir dos importantes crisis con las potencias dominantes. La segunda de ellas, por el estrecho de Taiwán, lo enfrentó con los EE.UU, que proveían el armamento a los nacionalistas de Chiang Kai-shek. Por otro lado, Nikita Jrushchov y Mao Zedong tenían serios desacuerdos por la traza de la frontera en Mongolia, los cuales llegaron incluso a producir algunos episodios conflictivos. Ambas naciones, que compartían una misma ideología aunque con diferentes miradas, se iban a enfrentar militarmente en el Incidente de la Isla de Zhenbao, en 1969. Aunque breve, este conflicto fronterizo sino-soviético confirmó la idea precursora del presidente del PCCh de que era su nación la que, por sus propios medios, debía desarrollar un explosivo atómico.

Siguiendo ese camino, el 16 de Octubre de 1964, en el sitio de pruebas nucleares de Lop Nor, China finalmente detonó su primer artefacto nuclear. Al igual que Little Boy, se trataba de un explosivo en base a ^{235}U, siendo precisamente esto lo que desconcertó a EE.UU, ya que los datos

nacionalizar el Canal de Suez, en poder conjunto de franceses y británicos. Se estima que los ingresos de Suez saldarían el megaproyecto de Asuán en sólo cinco años.

[20] Israel no devolvió el Sinaí, sino que fue puesto bajo tutela de las Naciones Unidas.

de inteligencia afirmaban que se encontraban muy lejos de poder obtener plutonio. La explosión tuvo un equivalente de 22,000 Tn de TNT y se llamó 596 por el sexto mes del año (Junio) de 1959, cuando Jrushchov cortó la ayuda al programa chino.

Los cinco países detonaron también bombas de fusión[21]. Las mismas que E. Teller había imaginado y concebido para los Estados Unidos fueron replicadas casi en el mismo orden de sucesión que para el caso de las bombas de fisión, con la sola excepción de China, que esta vez se adelantó a los franceses.

La *superbomba* o "bomba H" constituye hoy, con sus diferentes variantes, la espina dorsal del arsenal nuclear de estas naciones, reservándose funciones tácticas a las bombas de fisión. EE.UU. ha realizado numerosas explosiones en las Islas Marshall y Bikini, sobre el Pacífico, la URSS en Nueva Zembla, Gran Bretaña en Australia (Islas Navidad), Francia en la Polinesia y China en su propio territorio. Se estima que hacia 2010 se habrían realizado entre 2,500 y 3,000 ensayos atómicos en todo el mundo.

Estos países no son los únicos que hayan efectuado explosiones nucleares o posean bombas atómicas; sin embargo, son los cinco miembros del Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas con poder de veto.

4. ARSENAL NUCLEAR Y POLÍTICA DE DISUACIÓN

Hacia enero de 2018, nueve Estados (EE.UU., Rusia, Reino Unido, Francia, China, India, Pakistán, Israel y Corea del Norte) poseían aproximadamente 4.120 cabezas nucleares operativas desplegadas, según Fig. 1.2.

[21] En todos los casos, el combustible es el mismo: Deuteruro de litio sólido que, mediante la explosión previa de una bomba de fisión a su alrededor, se fusiona liberando una energía equivalente, considerablemente mayor a las bombas de fisión.

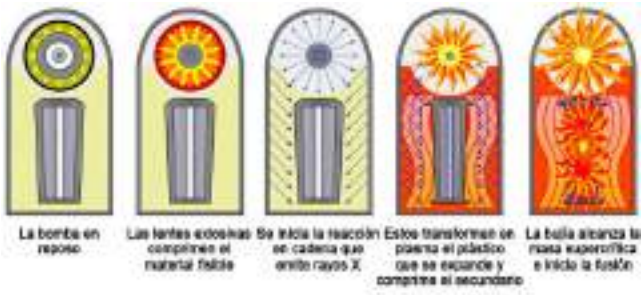


Fig. 1.1: Traducción propia en base a German A. Goncharov, "Thermonuclear milestones," Physics today (Nov 1996), pp 51

	Año 1° ensayo nuclear	Operativas	En depósitos	Esperando desmantelamiento	Total inventario
EE.UU.	1945	1930	2570	2500	**7000**
Rusia	1949	1790	2700	2800	**7290**
UK	1952	120	95	-	**215**
Francia	1960	280	10	10	**300**
China	1964	-	260	-	**260**
India	1974	-	100-120	-	**100-120**
Pakistán	1998	-	110-130	-	**110-130**
Israel	*desconocido*	-	80	-	**80**
Corea del Norte	2006	-	10?	-	**10?**
TOTAL		**4120**	**5965**	**5310**	**15395**

Fig. 1.2: Elaboración propia en base a Kile & Kristensen, "Trends in world nuclear forces," SIPRI (Jun 2016)

Si todas las armas nucleares de los arsenales fueran contadas, estos Estados juntos poseerían un total de 15.395 cabezas nucleares, comparado con aproximadamente 15.850 en 2015, y 20.000 en 2012. Y mientras que el número total de armas nucleares en el mundo continua decreciendo, claro está que ninguna Nación poseedora está preparada para eliminar por completo su arsenal en un futuro próximo.

De lo enunciado ut-supra se observa que los inventarios globales han estado contrayéndose desde un máximo producido hacia mediados de la década de los ochenta, tiempo en el cual se alcanzaron las 70.000 cabezas nucleares. La disminución ha sido, primariamente, fruto de los acuerdos entre Rusia y EE.UU. de desarme formulados desde 1991, no obstante el ritmo de esta disminución ha ido menguando desde las décadas pasada. Aún más, tanto Rusia como EE.UU. están desarrollando en la actualidad extensivos y onerosos programas de modernización tanto de los sistemas de lanzamiento como de las cabezas nucleares propiamente dichas.

China se ha embarcado en un programa a largo plazo de modernización focalizado más en aspectos cualitativos que cuantitativos. India y Pakistán están centrados en expandir sus stocks operativos, así como en desarrollar sistemas de lanzamiento basados en mar y aire. Israel, que nunca ha confirmado la posesión de artefactos nucleares explosivos, está testeando un misil de largo alcance. Corea del Norte estaría ensayando la tecnología para desplegar sus cabezas nucleares.

No hay que ser ingenuos y pensar que esta reducción de los inventarios contrae el riesgo. Se necesita menos de la mitad del stock actual para hacer desaparecer varias veces el planeta. En una de sus últimas frases, Einstein dijo: “luego de la segunda guerra mundial, habrá una tercera y una cuarta. Solo que esta última la pelearan con palos y piedras”

Capítulo II

ASPECTOS BÁSICOS DE LA TECNOLOGÍA NUCLEAR Y CONCEPTOS DE SEGURIDAD.

"Durante mucho tiempo continuaremos viviendo divididos entre el miedo a las armas misteriosas y la esperanza en los milagros de la ciencia"

Raymond Aron

"La ciencia es una de las formas más elevadas del quehacer espiritual pues está ligada a la actividad creadora del intelecto, forma suprema de nuestra condición humana."

René Favaloro

1. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

No obstante haber tenido un maquiavélico debut, la energía nuclear ha abierto enormes posibilidades para el progreso humano contribuyendo a elevar el nivel de vida de una población en constante crecimiento.

El desconocimiento de la opinión pública y de muchos funcionarios que identifican "lo nuclear" sólo con las aplicaciones bélicas, genera discusiones infecundas colmadas de pre-conceptualidades y desprovistas de fundamentación científica. Resulta entonces necesario presentar los diversos usos actuales y potenciales para lograr un mundo cada vez más competitivo en recursos. Es dable entonces la pregunta: ¿Para qué sirve la energía nuclear?

Sin lugar a dudas, una de las principales contribuciones de la energía nuclear ha sido la generación de electricidad. Los rusos fueron los primeros en inaugurar un reactor comercial en junio de 1954. Se trataba de la central de Obninsk[1], de uranio natural y grafito, que aportaba en sus comienzos escasos

[1] 100 km. al suroeste de Moscú, fue fundada como ciudad en 1946 para los obreros de la primera planta nuclear civil del mundo.

5 MW. Entre tanto, los ingleses fueron los segundos, en el año 1956, con un tipo de reactor similar uranio natural como combustible y grafito como moderador[2], de 50 MW.

El consumo de electricidad de una Nación y su evolución en el tiempo es una medida directa del desarrollo que ha alcanzado y de las proyecciones futuras que ambiciona. Existe una estrecha y directa vinculación entre el uso de la energía eléctrica, el producto bruto interno y el crecimiento demográfico. En efecto, toda Nación planifica a largo plazo su demanda potencial de recurso eléctrico. Planificar es anticiparse a la demanda, conceptualizada tanto en el aumento de la capacidad productiva del país como en su demografía. Esto exige a los profesionales involucrados en el ámbito de las ciencias técnicas como en el de las ciencias sociales, proyectar los recursos de la Nación que sean necesarios para atender la evolución de la demanda energética, con una década de anticipación. Y esto es así porque, en promedio, desde que el proyecto de la nueva central comienza a gestarse en la computadora de diseño hasta que inicia su aporte de energía al sistema transcurren no menos de diez años.

Ahora bien, cuando pensamos en qué tipo de energía queremos para nuestra Nación, la respuesta debería basarse en aquel que optimice una función de cinco parámetros, a saber: *seguridad, abundancia, sustentabilidad, diversificación y competitividad.*

Una generación inherentemente "*segura*" es razón de base para proteger la integridad física de trabajadores y ciudadanos. No obstante ello, el concepto va más allá de esta interpretación y refiere a seguridad desde el punto de vista de constancia de suministro, es decir, que esté disponible cuando sea requerida, sin intermitencias ni restricciones. La "*abundancia*" garantiza que la infraestructura nueva del país cuente con este suministro vital. Asimismo, el concepto va de la mano de abundancia del combustible utilizado, sea para el abastecimiento a nivel local, o bien para promover acuerdos comerciales de largo plazo con terceros países involucrados. La cualidad de "*sustentabilidad*" debe ser analizada desde una óptica comprensiva de los aspectos e impactos ambientales que produce su aplicación, y su interacción con las generaciones futuras. La "*diversificación*" obliga a tener una matriz energética en donde estén depositadas más de un tipo de generación, esto es, derivadas de combustibles fósiles, hidráulica, nuclear, eólica, solar, mareomotriz, geotérmica, etc. Si bien es dable encontrar una energía dominante que, normalmente coincide con el recurso en abundancia del país, no es sano tener todo el parque energético asociado a un solo tipo de generación. Por ende, la diversificación hace a la mejor ecuación siempre que combine distintos tipos de energía en función de puntos de consumo, características de la demanda y, por supuesto, disponibilidad del insumo. Por último, la "*competitividad*" indica que debe ser suministrada al usuario a un precio razonable, es decir, posible de pagar.

[2] En Calder Hall, Sellafield.

Como ventajas y desventajas de generar podemos quedarnos con algunas ideas sencillas y fáciles de comprender. La energía nuclear tiene un costo de generación bajo y un costo de inversión alto frente a las turbinas de combustibles fósiles. Esto se debe a que las centrales nucleares tienen una prima de un 30% en inversión de cuestiones vinculadas a seguridad, emanadas de la naturaleza propia de su operación, en tanto que el costo del combustible (uranio) por unidad de generación (MW) es más bajo que para cualquiera de sus homólogos fósiles en términos comparativos.

Por otra parte, las centrales nucleares no generan efecto invernadero, pese a que la disponibilidad y los costos de extracción del carbón son notablemente más bajos que el uranio.

En el caso de las centrales hidráulicas, conllevan altísimas inversiones, generalmente desplazamientos de población[3], inundación de tierras aledañas, y requieren caudalosos ríos para su ubicación geográfica. Esta última debe ser estratégica y también acotada, para no perjudicar las centrales localizadas aguas abajo[4]. Cabe destacar, que su fuente de alimentación depende del clima, fundamentalmente de las lluvias o los deshielos; pero no necesitan quemar ningún combustible.

Queda claro entonces que proyectar una central implica una buena cuota de ingenio e imaginación, a la vez que una gran responsabilidad si tenemos en cuenta los valores económicos involucrados[5].

Las energías se clasifican según varios razonamientos. Un criterio se basa en el grado de disponibilidad de los recursos y así tenemos conocida división entre renovables y no renovables. Otra clasificación consiste en el tipo del recurso y así tenemos: energías convencionales y energías no convencionales. Las primeras, tienen una participación importante en la generación actual, tal es el caso de los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural), la energía hidráulica y la energía

[3] El templo original de Abu Simbel, en Egipto, tuvo que ser trasladado al momento de construir la segunda presa de Asuán. La construcción del primer embalse fue iniciado por los británicos en 1899 y se concluyó en 1902. El diseño inicial, muy poco ambicioso, pronto mostró ser inadecuado, por lo que se procedió a aumentar su altura en 1912 y de nuevo en 1933. Cuando la presa estuvo a punto de desbordarse en 1946 se decidió que, en lugar de aumentar su altura por tercera vez, se construiría una segunda presa ocho kilómetros río arriba, que además de ayudar a controlar las crecidas, suministraría energía eléctrica a buena parte del país. El problema era que esa construcción creó un enorme lago (el lago Nasser) que sumergió bajo sus aguas tesoros del antiguo Egipto. Una anécdota interesante cuenta que en la ubicación original, la perfecta orientación de Abu Simbel hacía que dos veces al año, y con una precisión matemática, los rayos del sol penetraran en el templo hasta el santuario, situado en lo más profundo, iluminando las estatuas de Amón, Ra, y Ramsés, y quedando sólo la cara del dios Ptah en penumbra, seguramente de forma intencionada, ya que era considerado el dios de la oscuridad. Las fechas en las que este fenómeno tenían lugar eran el 21 de febrero, fecha del nacimiento de Ramsés II, y el 21 octubre, fecha de su coronación. Este fenómeno fue tenido en cuenta por los ingenieros en su traslado aunque debido a un error, estos dos hechos se han desplazado un día, por lo que el fenómeno sucede el 22 de octubre y el 20 de febrero.

[4] Brasil construyo su represa en Itaipu sin consultar a su par Argentina, lo que crispó al gobierno nacional pues consideraba que había que hacer una consulta previa a los vecinos que se encontraban aguas debajo de los ríos compartidos de curso continuo. Pero para Brasil, Itaipu resultaba estratégico. Con sus 14000 MW proyectados podría abastecer más del 30% de las necesidades eléctricas del país; principalmente del sur industrial. No estaban dispuestos a renunciar ni a rever este proyecto. Urdió con Paraguay, más allegado a los intereses lusitanos que argentinos, los acuerdos sobre el Paraná y fue así como comenzó unilateralmente su construcción.

[5] Solo a título de referencia, una central nuclear de 1000 MW puede estar hoy rondando los 7,000 millones de dólares americanos.

nuclear. Las no convencionales son aquellas que aún no tienen una masificación en su uso, debido a que se encuentran en una etapa de desarrollo tecnológico, como la energía solar, eólica y otras aún más incipientes como la derivada de la biomasa y de la diferencia de amplitud de mareas.

Otra categorización importante a considerar es la identificación de centrales de base y centrales de pico. Para ello, se debe interpretar la demanda en función de las horas del día, tanto para la industria como para el consumo doméstico así como la incidencia de la estación: invierno o verano. De esta manera, en los gráficos de carga obtenidos, se pueden apreciar zonas de "base" por debajo de la cual la demanda nunca cae, zonas de "llano" durante la mayor parte del día y zonas de "pico" en casos puntuales caracterizados por el consumo y que en nuestro país se registran entre las 10:00 a 13:00 hs. y entre las 18:00 a 23:00 hs.

Con el objeto de cubrir las zonas "base" se utilizan centrales de alto rendimiento a plena carga como son las centrales de vapor de gran envergadura o las nucleares; para las zonas de "llano" son óptimas las anteriores y las hidráulicas; y para las zonas de "pico" se eligen máquinas de arranque rápido y de maniobra fácil, no importando tanto el rendimiento sino su capacidad de respuesta inicial.

Esta conclusión nos conduce a comprender que una central nuclear está planeada como central de base de manera que se pone en marcha, alcanza su valor de generación de diseño y, normalmente, no se detiene salvo su mantenimiento; operando a valores de plena potencia durante toda su vida útil.

1.1. Ventajas que aporta la energía nuclear.

Los aportes que ofrece la generación de la energía nuclear se pueden estructurar en cuatro categorías:

<u>Ventajas respecto al mercado eléctrico</u>.

- Aporta estabilidad económica en el costo de producción, ya que el precio del combustible solo oscila en el 20% del costo final del KWh.
- Al ser una energía de base, es decir, de generación continua y garantizada con grandes potencias y de gran fiabilidad (sus tiempos de funcionamiento superan el 90% de las horas del año), permite estabilizar el mercado y reducir la fluctuación del precio eléctrico influido por la elevada volatilidad del precio de los combustibles fósiles y la intermitencia en la operación de las renovables que añaden sus altos precios.

<u>Ventajas respecto a la garantía de suministro.</u>

- La gran densidad energética del combustible nuclear, un millón de veces por unidad de peso superior con respecto a los combustibles fósiles, hace que una central de 1.000 MW consuma al año menos de 100 t de uranio almacenables en un recinto de mínimas dimensiones.

- Argentina dispone de uranio. Esto junto con la fiabilidad de la tecnología de las centrales con los citados índices de operación anual (90%) hacen a la energía nuclear jugar un importante papel a la hora de dar estabilidad a cualquier economía que imperativamente precisa garantizar su suministro.

Ventajas respecto a la industria y a la economía.

- Es una inversión en una disciplina de alto valor científico y tecnológico que arrastra la aplicación de los avances logrados al resto de sectores industriales y económicos.
- Permite posicionar al país a la vanguardia del desarrollo tecnológico y generar divisas en exportaciones.
- El conocimiento de la ciencia eleva la calidad de vida de la Nación. Las aplicaciones médicas son un claro ejemplo.

Ventajas respecto a los compromisos medioambientales.

- Las centrales nucleares emiten mínimos GEI por lo que ayudan a cumplir los compromisos ambientales (21ª COP 21 Paris 2015).
- Independientemente de la controversia existente sobre sus residuos, éstos son en volumen mínimos y están controlados.
- Asegura la diversificación energética y reduce la dependencia energética del petróleo y gas, junto con las renovables; de creciente presencia pero alta variabilidad.

1.2. Emisiones de CO2.

Los criterios de protección ambiental se han tornado trascendentes en las relaciones interestatales, toda vez que vivimos en el mismo planeta. Como resultado, en el seno de las Naciones Unidas se aprueba el 9 de mayo de 1992 la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), cuyo órgano supremo, la Conferencia de las Partes (CP o COP), se reúne anualmente en asamblea para evaluar la situación del cambio climático y la eficacia del tratado, entre otras actividades.

Al respecto, cabe destacar algunos datos llamativos:

- A nivel mundial la generación eléctrica explica más del 45% de la emisión de CO2.
- China, India y Rusia son los países emergentes con más reactores nucleares en construcción (60% del total), Precisamente porque necesitan disminuir su cuota de emisión.
- Del 2002 al 2014, Argentina incrementó la generación bruta fósil de 33629 GWh a 87982 GWh (x 2.7), mientras todas las otras fuentes permanecieron prácticamente invariables (Atucha II entra a CAMMESA en 2015).
- ¿Existe un "*decoupling*" entre el PBI y la emisión de CO2?

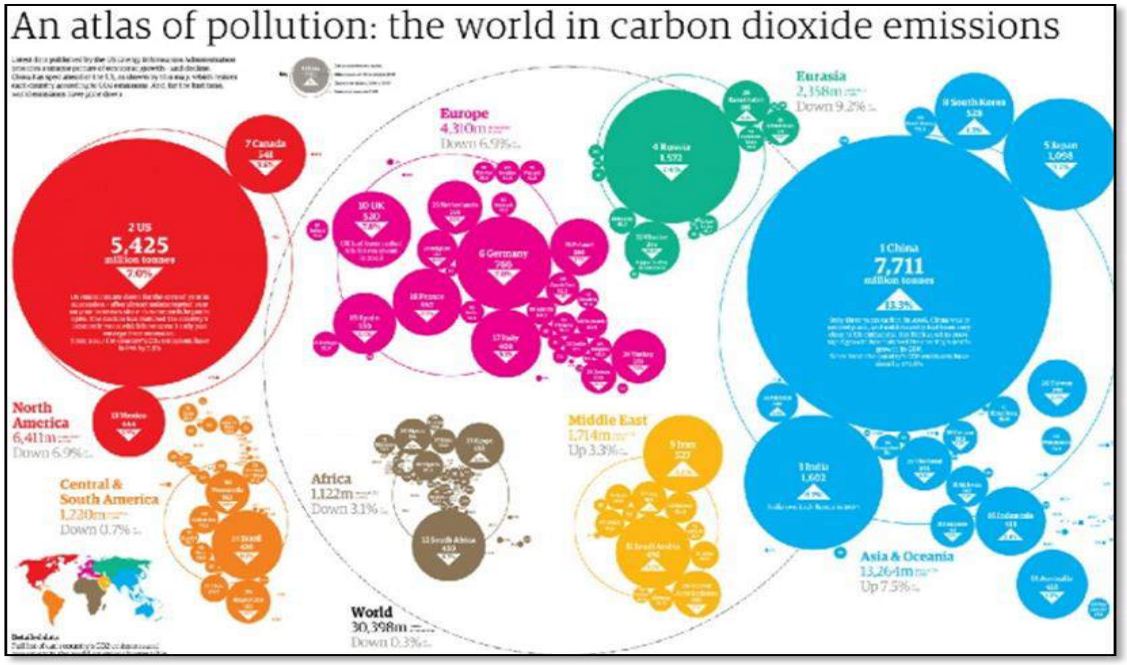


Fig. 2.1: U.S. Energy Information Administration (2017). Obsérvese la magnitude de los círculos que representan China, India, EE.UU. y Rusia.

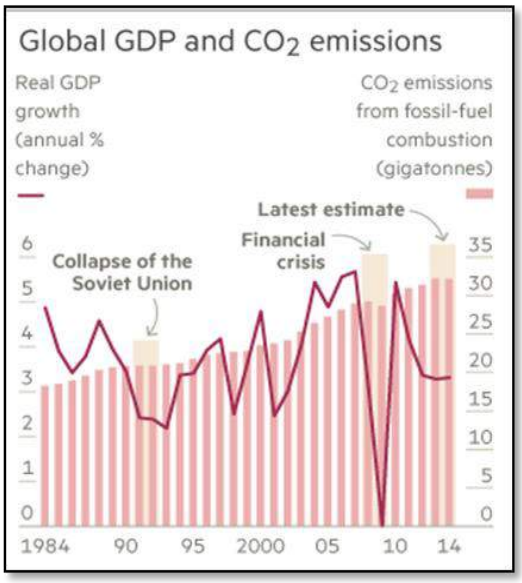


Fig. 2.2: U.S. Energy Information Administration. Durante mucho tiempo se pensó que el crecimiento del PBI iría de la mano de un crecimiento inevitable de las emisiones de CO2. Sin embargo, desde hace poco tiempo atrás existe evidencia fáctica de que esto puede ser debatido.

1.3. Energía nuclear: contexto político-económico

A nivel mundial la participación de las fuentes de energía varía según varios factores, entre los cuales los políticos no son ajenos a la controversia. En un análisis primario se desprende que existió un marcado incremento en el inicio de los proyectos nucleares durante la década del setenta que coincidió principalmente con la crisis del petróleo. A la inversa puede verse a nivel mundial una caída del interés en la generación nucleoeléctrica durante los noventa, producto de dos factores: el accidente sucedido en la central nuclear de Chernobyl, en la ex Unión de Repúblicas Socialistas

Soviéticas, que provocó un gran impacto en la opinión mundial; a la vez que este periodo coincide con valores bajos de materias primas, entre ellas petróleo y oro. El cálculo nuevamente se revierte a mediados del 2000 cuando, fundamentalmente impulsados por las necesidades de China y el aumento del precio de los comodities, el número de centrales nucleoeléctricas en construcción vuelve a crecer.

1.4. Distribución de centrales nucleares en el mundo

El mundo cuenta con 437 reactores nucleares distribuidos en 30 países que aproximadamente representan el 11 % de la producción mundial de electricidad, y entre el 3% al 75% de la matriz energética, según el país. En cuanto al 89% de la producción global restante, un 41 % corresponde al quemado de carbón, 30 % al complejo petróleo-gas, 15 % a la generación hidráulica y el 3 % remanente a las no convencionales, es decir, con los generadores eólicos liderando este pelotón.

Fig. 2.3: World Nuclear Association (2017).

En el mundo hoy existen 66 nuevos reactores en construcción, situados en 15 países. China cuenta con 24 reactores en construcción, Rusia con 10 e India con 6, lo cual refleja una concentración en las economías BRICS; seguido por Corea del Sur que cuenta con 4 reactores en construcción.[6]. Asimismo, se puede ver que dos “newcomers” penetran en el mercado nuclear: Emiratos Arabes Unidos y Bielorusia.

[6] Obsérvese la preponderancia de Asia en el total.

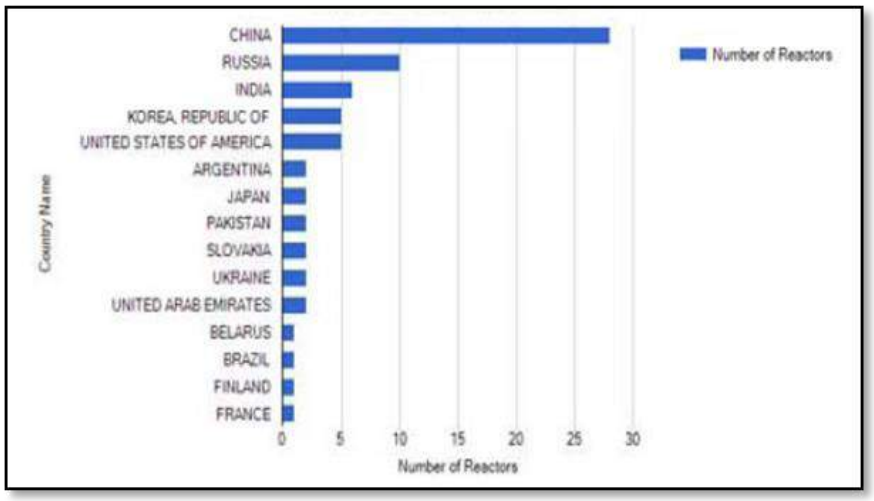


Fig. 2.4: World Nuclear Association (2015). Al momento de la gráfica, Argentina figuraba todavía con la finalización de Atucha II. El segundo reactor es el prototipo de la Central Argentina de Elementos Modulares (CAREM).

Un análisis detallado de los 437 reactores se puede observar en la sig. tabla.

COUNTRY (Click name for Country Profile)	NUCLEAR ELECTRICITY GENERATION 2014		REACTORS OPERABLE June 2015		REACTORS UNDER CONSTRUCTION June 2015		REACTORS PLANNED June 2015		REACTORS PROPOSED June 2015		URANIUM REQUIRED 2015
	billion kWh	% e	No.	MWe net	No.	MWe gross	No.	MWe gross	No.	MWe gross	tonnes U
Argentina	5.3	4.0	3	1627	1	27	2	1950	2	1300	215
Armenia	2.3	30.7	1	376	0	0	1	1060			88
Bangladesh	0	0	0	0	0	0	2	2400	0	0	0
Belarus	0	0	0	0	2	2388	0	0	2	2400	0
Belgium	32.1	47.5	7	5943	0	0	0	0	0	0	1017
Brazil	14.5	2.9	2	1901	1	1405	0	0	4	4000	326
Bulgaria	15.0	31.8	2	1906	0	0	1	950	0	0	324
Canada	98.6	16.8	19	13553	0	0	2	1500	3	3800	1784
Chile	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4400	0
China	123.8	2.4	26	23144	24	26313	44	51050	136	153000	8161
Czech Republic	28.6	35.8	6	3904	0	0	2	2400	1	1200	566
Egypt	0	0	0	0	0	0	2	2400	2	2400	0
Finland	22.6	34.6	4	2741	1	1700	1	1200	1	1500	751
France	418.0	76.9	58	63130	1	1720	1	1720	1	1100	9230
Germany	91.8	15.8	9	12003	0	0	0	0	0	0	1889
Hungary	14.8	53.6	4	1889	0	0	2	2400	0	0	357
India	33.2	3.5	21	5302	6	4300	22	21300	35	40000	1579
Indonesia	0	0	0	0	0	0	1	30	4	4000	0
Iran	3.7	1.5	1	915	0	0	2	2000	7	6300	176
Israel	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1200	0
Italy	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Japan	0	0	43	40480	3	3036	9	12947	3	4145	2549
Jordan	0	0	0	0	0	0	2	2000			0
Kazakhstan	0	0	0	0	0	0	2	600	2	600	0
Korea DPR (North)	0	0	0	0	0	0	0	0	1	950	0
Korea RO (South)	149.2	30.4	24	21657	4	5600	8	11600	0	0	5022

(Cont.)

Lithuania	0	0	0	0	0	0	1	1350	0	0	0
Malaysia	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2000	0
Mexico	9.3	5.6	2	1600	0	0	0	0	2	2000	270
Netherlands	3.9	4.0	1	485	0	0	0	0	1	1000	103
Pakistan	4.6	4.3	3	725	2	680	2	2300	0	0	101
Poland	0	0	0	0	0	0	6	6000	0	0	0
Romania	10.8	18.5	2	1310	0	0	2	1440	1	655	179
Russia	169.1	18.6	34	25264	9	7968	31	33264	18	16000	4206
Saudi Arabia	0	0	0	0	0	0	0	0	16	17000	0
Slovakia	14.4	56.8	4	1816	2	942	0	0	1	1200	466
Slovenia	6.1	37.2	1	696	0	0	0	0	1	1000	137
South Africa	14.8	6.2	2	1830	0	0	0	0	8	9600	305
Spain	54.9	20.4	7	7002	0	0	0	0	0	0	1274
Sweden	62.3	41.5	10	9487	0	0	0	0	0	0	1516
Switzerland	26.5	37.9	5	3333	0	0	0	0	3	4000	521
Thailand	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5000	0
Turkey	0	0	0	0	0	0	4	4800	4	4500	0
Ukraine	83.1	49.4	15	13107	0	0	2	1900	11	12000	2366
UAE	0	0	0	0	3	4200	1	1400	10	14400	0
United Kingdom	57.9	17.2	16	9373	0	0	4	6680	7	8920	1738
USA	798.6	19.5	99	98792	5	6018	5	6063	17	26000	18692
Vietnam	0	0	0	0	0	0	4	4800	6	6700	0
WORLD**	**2,411**	**c 11.5**	**437**	**380,250**	**66**	**68,997**	**168**	**189,504**	**322**	**364,270**	**66,883**
	billion kWh	**% e**	**No.**	**MWe**	**No.**	**MWe**	**No.**	**MWe**	**No.**	**MWe**	**tonnes U**
	NUCLEAR ELECTRICITY GENERATION		REACTORS OPERABLE		REACTORS UNDER CONSTRUCTION		ON ORDER or PLANNED		PROPOSED		URANIUM REQUIRED

Fig. 2.5: World Nuclear Association (2016). Argentina operativos: Atucha I, II y Embalse. Argentina en construcción: CAREM. Argentina planeados: Atucha III (con dos reactores tipo Candu). Argentina propuestos: V Central con PWR + CAREM con 300 MW. Volveremos sobre todos estos conceptos más adelante.

1.5. Funcionamiento de una central nuclear.

A modo de comparación digamos que en una central térmica se quema carbón o gas, mientras que en una central nuclear se quema uranio.

Para entender el funcionamiento es necesario repasar el proceso de fisión. El átomo de un elemento fisionable (en este caso uranio) se comporta de manera bastante particular para producir energía y necesita de algo que haga posible la ruptura de su núcleo para emitirla.

Ese "*algo*" es una partícula que forma parte de su misma estructura, el neutrón, que al incidir en el núcleo de un átomo fisionable, lo parte y da lugar a la liberación de productos de fisión, neutrones y energía. A los fines prácticos, interesan estos dos últimos: los neutrones, para producir nuevas fisiones y crear un proceso en cadena; y la energía, para transformarla en energía eléctrica.

En una central nuclear el reactor es el recipiente que aloja a los elementos combustibles. Existen varios modelos de reactores que se corresponden con la disposición interior de los elementos combustibles, el moderador y/o refrigerante elegidos, los mecanismos de seguridad, el tipo de combustible, etc. La elección de un tipo de reactor, entre tantas posibilidades, encuentra una

dificultad adicional en el hecho de que todos ofrecen inconvenientes que contrarrestan, al menos en parte, sus características ventajosas. Así, por ejemplo, el agua ordinaria es un buen moderador y refrigerante, a la vez que económico, pero tiene el inconveniente de poseer una sección eficaz de captura para neutrones térmicos elevada, lo que obliga a utilizar combustible enriquecido. El agua pesada, en cambio, tiene una sección eficaz de captura neutrónica muy pequeña y puede emplearse con combustibles de uranio natural, pero es excesivamente oneroso.

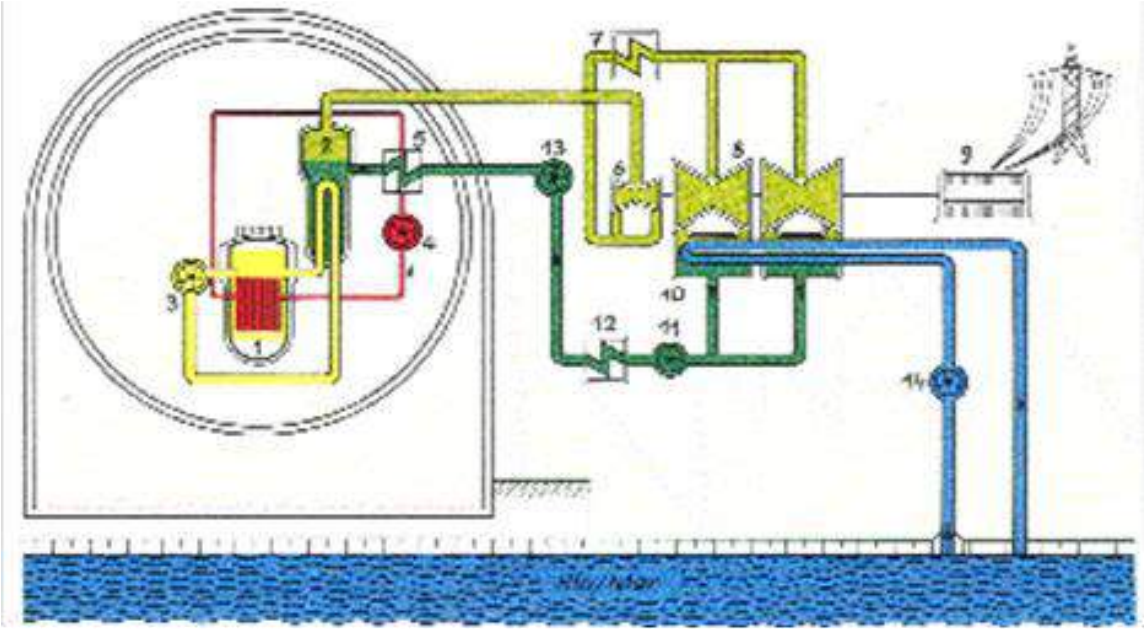


Fig.2.6. Principio de funcionamiento de una central nuclear. 1-reactor, 2-generador de vapor, 3-bomba del refrigerante principal, 4-bomba del moderador, 5-refrigerador, 6-turbina de alta presión, 7-separador de agua, 8-turbina de baja presión, 9-generador de energía eléctrica, 10-condensador, 11-bomba del condensador, 12-precalentador, 13-bomba de agua de alimentación, 14-bomba de agua de refrigeración. En amarillo: refrigerante (agua pesada), en rojo: moderador (agua pesada), en verde claro: vapor, en verde oscuro: condensado, en azul: agua de refrigeración (Río). Fuente: Kraftwerk Union Aktiengeesellschaft, Germany.

El reactor nuclear incluye los elementos necesarios para iniciar la reacción de fisiones en cadena, mantenerla estable y extinguirla a voluntad. Consta de un núcleo activo, en el cual se mantiene la cadena de fisiones y donde se libera casi toda la energía en forma de calor. El núcleo contiene el combustible nuclear, en forma de elementos combustibles.

El combustible comúnmente utilizado es el uranio[7] natural o enriquecido, donde el combustible físil es el ^{235}U y el material fértil es el ^{238}U, el cual al absorber neutrones da lugar a otro físil, el ^{239}Pu. Si es el caso de un reactor térmico, en el cual la mayoría de las fisiones son producidas por neutrones térmicos, se requiere de un material moderador.

[7] Nótese que con la fisión de 1 gramo de ^{235}U se mantiene una potencia de 1 MW durante un día.

A modo de ejemplo, veamos cómo funciona un reactor símil a Atucha I (primer central nucleoeléctrica de Argentina). Fig. 2.6

Dentro de los canales de los elementos combustibles, y embebiendo exteriormente los manojos, circula el agua pesada del circuito primario de transporte de calor. La misma tiene dos funciones: a) actuar como moderador, disminuyendo la velocidad de los neutrones producidos en la fisión, para aumentar la probabilidad de colisión con otros átomos de uranio y así aumentar la reacción en cadena -en la figura este sistema del moderador está indicado en color rojo-; y b) transferir desde el interior del núcleo del reactor -identificado con el color amarillo en la figura- el calor producido hacia el sistema secundario -identificado en color verde en la figura.

El sistema secundario contiene agua liviana común desmineralizada para evitar la corrosión de los equipos que se encuentran en contacto con ella. El equipo principal es llamado generador de vapor. Allí, el calor que proviene del reactor con el agua pesada -como puede observarse en color amarillo en la figura- hace hervir al agua liviana -se aprecia en color verde en la figura- produciendo vapor que acciona la turbina -reflejado en verde claro de la figura.

Debido a las radiaciones asociadas a las fisiones y a los productos de fisión, se hace necesario disponer de blindajes para la protección de las personas, materiales y equipos. Estos blindajes rodean al reactor y forman parte importante de la estructura.

La turbina cuenta con una etapa de alta presión y otra de baja presión. Entre ellas se encuentran los separadores de humedad y recalentadores, con el objeto de disminuir el contenido porcentual de humedad de vapor y aumentar su temperatura antes de ser suministrado a la etapa de baja presión.

Cuanto mayor sea la temperatura del vapor, mayor será el rendimiento de la conversión en potencia útil. Por lo tanto, en un reactor para producción de energía, interesa operar a la temperatura más alta posible, lo que implica elevar las presiones de los sistemas de transporte de calor. No obstante, existen limitaciones tecnológicas y económicas asociadas a las temperaturas y presiones de trabajo, por lo que en el diseño se establece una condición de equilibrio que contempla todos los aspectos.

El vapor que ha accionado las etapas de baja presión es condensado en un condensador existente en la parte inferior de la turbina. La condensación se logra por el aporte refrigerante del agua del río -reflejado en color azul en la figura- que circula por la parte interna de tubos existentes dentro del condensador.

El agua obtenida en el fondo del condensador es bombeada a través de una serie de pre-calentadores, hacia los generadores de vapor, recorriendo así en su totalidad el circuito cerrado del sistema secundario -indicado en color verde oscuro en la figura.

La turbina acciona un generador y éste entrega energía eléctrica al Sistema Argentino De Interconexión. Comprendida la generalidad del proceso continuaremos con un análisis técnico detallado que diseccione cada componente.

2. ELEMENTOS DEL NÚCLEO DE UNA CENTRAL

Resulta imprescindible conocer al menos que es lo que hay en el corazón del reactor nuclear y cuál es la función específica de cada sistema.

Los principales componentes del núcleo son:
· Combustible nuclear.
· Refrigerante.
· Moderador.
· Reflector.
· Absorbentes neutrónicos.

2.1. Combustible nuclear

El combustible nuclear es el material en el cual se producen las fisiones inducidas por neutrones. Normalmente, se encuentra como un conjunto de pastillas. El combustible nuclear es cubierto por una vaina que actúa como una barrera física que lo contiene y evita que los productos de fisión puedan salir al medio refrigerante. El conjunto combustible-vaina se denomina barra combustible.

Los materiales más utilizados como combustible nuclear son los compuestos de uranio. En la mayoría de los diseños, se trata de utilizar compuestos que tengan una alta densidad de uranio. El compuesto utilizado en los reactores de potencia es dióxido de uranio (UO_2). Sin embargo, en reactores de investigación[8] pueden utilizarse otros compuestos como aleación de uranio metálico y aluminio, aleaciones de uranio y molibdeno, siliciuros de uranio y óxidos de uranio de mayor densidad.

El uranio puede estar como U-natural (0.71% en masa de ^{235}U a U total) o como U-enriquecido (»3% en reactores de potencia o »20% en los nuevos diseños de reactores de investigación).

Para facilitar la gestión del combustible y su refrigeración, varias “barras combustibles” se agrupan para formar un elemento combustible cuyo diseño mecánico asegura que no se modifica la disposición geométrica de estas barras combustibles.

[8] Como su nombre lo indica un reactor de investigación es aquel que emplea la ciencia en forma experimental y/o para docencia. Son de baja potencia y por supuesto no son aptos para la producción de energía eléctrica.

Un requisito necesario es la refrigeración de cada elemento combustible para extraer su calor. Para ello, es conveniente que sus barras combustibles posean una forma geométrica que derive en una alta relación superficie-volumen. Los diseños geométricos más utilizados son el tipo barra cilíndrica de diámetro pequeño para los reactores de potencia[9] y el tipo placa para algunos reactores de investigación.

2.2. Refrigerante

El refrigerante es el material utilizado para extraer la energía generada en las barras combustibles. El mecanismo de transferencia de calor más adecuado es la convección forzada, por lo cual se obliga a pasar un fluido por entre las barras a un determinado caudal y presión. Normalmente, el refrigerante suele ser un fluido, en estado líquido.

En los reactores de potencia, para lograr una adecuada eficiencia en el ciclo térmico se necesita que el refrigerante alcance altas temperaturas. En caso que el refrigerante esté parcial o totalmente en estado líquido, para que éste alcance altas temperaturas el reactor debe encontrarse presurizado. Para presurizarlo se pueden utilizar dos diseños, todo el refrigerante dentro de un recipiente de presión o el refrigerante asociado a cada elemento combustible dentro de un tubo de presión[10].

En los reactores de investigación el refrigerante no suele estar presurizado, ya que al tratarse de baja potencia no alcanzan altas temperaturas.

Los materiales más utilizados como refrigerantes son agua liviana, agua pesada, helio, dióxido de carbono (CO_2) y sodio líquido.

2.3. Moderador

El moderador se utiliza con el propósito de reducir la energía cinética de los neutrones de fisión. Los materiales utilizados como moderadores son de bajo número atómico para favorecer las reacciones de dispersión elástica y pueden presentarse en estado sólido o líquido. Los materiales más usuales son agua liviana, agua pesada o grafito.

El moderador puede estar o no separado físicamente del refrigerante por lo cual ambos materiales pueden tener similar o diferente valor de presión o temperatura.

En los reactores de potencia, el moderador debe ser refrigerado para extraer la energía del proceso de moderación de los neutrones de fisión.

[9] El largo de la barra depende del diseño del reactor.
[10] Estas diferencias son muy claras en los dos tipos de reactores de potencia Argentinos.

2.4. Reflector

El núcleo de un reactor está rodeado normalmente por un material reflector de neutrones cuya función es reducir la pérdida o fuga de los neutrones provenientes del proceso de fisión. La razón para utilizar un reflector es disminuir la masa de material combustible necesario para operar el reactor nuclear.

Los materiales que se utilizan como reflector son similares a los que se utilizan como moderador y en algunos reactores de investigación también se utiliza berilio.

2.5. Absorbentes neutrónicos

Los absorbentes neutrónicos se utilizan en un reactor nuclear para producir la extinción del reactor, controlar el exceso de reactividad, permitir cambios de potencia y realizar el control espacial del flujo neutrónico.

Para producir la extinción del reactor se utilizan materiales con alta sección eficaz macroscópica de absorción, llamados absorbentes negros (boro, cadmio, aleación de indio-plata, hafnio, gadolinio son los más utilizados). Para realizar el control espacial del flujo neutrónico se utilizan materiales menos absorbentes, llamados absorbentes grises (acero inoxidable, cobalto).

Los absorbentes neutrónicos pueden estar en estado sólido o líquido. En estado sólido, se los encuentra en geometrías que presentan una alta relación superficie volumen (placas o barras de diámetro pequeño). El conjunto de varias barras o placas que se mueven solidariamente se llaman barras de control, en los reactores de investigación, y banco de barras de control en los de potencia.

En estado líquido el absorbente neutrónico se encuentra como soluto dentro de una solución. La inserción de materiales absorbentes en el núcleo de un reactor produce una disminución de la reactividad y consecuentemente la reducción en la potencia, y viceversa si se lo extrae.

En los reactores de investigación y en los de potencia, las barras de control deben ser refrigeradas para extraer la energía producida en la reacción de absorción de los neutrones.

3. COMPONENTES Y SISTEMAS DE SEGURIDAD

3.1. Componentes

Los componentes principales de los reactores nucleares son: elementos combustibles, barras de control, refrigerante, moderador-reflector, tanque de reactor, generador de vapor, presurizador, bomba de refrigeración y conjunto turbina-generador.

3.1.1. Elementos Combustibles

En general, los elementos combustibles de los reactores para producción de energía consisten en un arreglo o estructura formada por tubos de zircaloy que contienen pastillas (pellets) de dióxido de uranio.

El zircaloy es una aleación de zirconio con baja concentración de estaño, hierro, cromo y níquel. En algunas oportunidades, el combustible puede contener boro o gadolinio para mejorar el control de las reacciones nucleares y en algunos reactores como los antiguos diseños Magnox reactores refrigerados a gas, se utiliza uranio metálico como combustible.

Los diferentes tipos de reactores pueden contener de 200 a 800 elementos combustibles. Cada elemento combustible tiene entre 35 a 200 barras combustibles. Según el modelo de reactor de que se trate, el largo de los combustibles puede variar entre 45 cm. y 6 m.

3.1.2. Barras de control

Son piezas móviles construidas con material absorbente neutrónico, que se utilizan para controlar la densidad neutrónica del reactor. Si bien existen variantes en la definición, suelen incluirse dentro de este término las barras que cumplen funciones exclusivas de control, las que cumplen solo funciones de seguridad y las que cumplen ambas funciones.

La función de seguridad más importante es la de detener el proceso de fisión por requerimiento del sistema de protección. La inserción se produce automáticamente a través de la medición de variables de proceso. En algunos reactores, todas las barras (29 a 100, dependiendo del tamaño) se insertan en un tiempo inferior a 2 segundos.

Las barras se construyen con un material absorbente de neutrones tales como carburo de boro, plata, indio, cadmio y hafnio, en forma cilíndrica, plana o cruciforme.

Las barras de control pueden encontrarse en forma externa a los elementos combustibles (en general entre elementos combustibles) o bien moverse dentro de los mismos.

3.1.3. Refrigerante

Tiene la función de extraer el calor generado en el núcleo del reactor como consecuencia de las fisiones, a fin de evitar que en el interior de los mismos se alcancen temperaturas demasiado elevadas.

El refrigerante puede ser gaseoso o líquido y entre los más empleados, o cuyo empleo está siendo estudiado seriamente, se pueden mencionar: agua líquida (liviana o pesada), sodio líquido (o la aleación líquida sodio-potasio), ciertos compuestos orgánicos, dióxido de carbono y helio.

3.1.4 Moderador - Reflector

El moderador cumple la función de disminuir la energía de los neutrones hasta que se equilibre con la del medio (energía térmica).

Los mejores moderadores son aquellos materiales que están constituidos por elementos de número másico pequeño, con poca captura neutrónica, y sección eficaz de dispersión bastante grande. En algunos casos, el mismo material se usa como refrigerante.

Los materiales más comunes que se utilizan como moderador son el agua liviana, el agua pesada, el berilio y el carbono en forma de grafito.

El agua liviana es la más usada por su abundancia y bajo costo. El agua pesada es mejor moderador que el agua liviana, desde el punto de vista que permite utilizar combustible con menor enriquecimiento, pero es mucho más costosa. El grafito es, también, mejor moderador que el agua pero posee algunos efectos indeseables por exposición a las radiaciones.

Los mismos tipos de materiales se utilizan para desempeñar la función de reflector. El reflector es un material que rodea al núcleo del reactor y tiene la función de reenviar hacia el interior del núcleo a los neutrones que escapan de la superficie del mismo, a fin de que puedan intervenir en el proceso de fisiones. De esta manera, se logra un núcleo más compacto con un aumento de la potencia media.

3.1.5. Tanque del reactor

Todos los elementos antes mencionados se encuentran contenidos dentro del tanque o recipiente del reactor. Dado que este componente se encuentra sometido a presión se lo denomina más comúnmente recipiente de presión.

A fin de reducir el stress térmico debido a la absorción de rayos gamma provenientes del núcleo, es usual colocar un blindaje térmico de acero entre el reflector y la pared interna del recipiente.

Por otra parte, el reflector cumple la función adicional de disminuir la dosis de radiación neutrónica en las paredes del recipiente.

Debido a que el recipiente y otros componentes nucleares contienen importantes fuentes de radiación, están rodeados por blindajes para proteger al personal de planta durante la operación normal.

3.1.6. Presurizador

Está diseñado para mantener la presión del sistema mediante calefactores montados en la parte inferior y aspersores montados en la parte superior del mismo.

También incluye válvulas de seguridad que abren en caso que la presión sea muy elevada y válvulas de descarga automática diseñadas para abrir antes que las válvulas de seguridad. La presión se mantiene normalmente alrededor de 150Kg/cm2. Esto corresponde a una temperatura aproximada de 320°C.

3.1.7. Generadores de vapor

La función del generador de vapor es transferir el calor del sistema de refrigeración primario al lado secundario de los tubos, los cuales contienen agua de alimentación.

El agua de alimentación atraviesa los tubos, extrae parte del calor y se transforma parcialmente en vapor. El vapor atraviesa los separadores de vapor que eliminan la humedad del mismo. Esto se hace para evitar la erosión que producen las gotas de agua en los alabes de la turbina.

El vapor que sale del generador a alta presión y temperatura se denomina “vapor vivo”.

3.1.8. Bombas de refrigeración

Las bombas que se utilizan en los sistemas de refrigeración de reactores nucleares de potencia presentan características especiales. Por una parte, las condiciones de trabajo a las que se encuentran sometidas son muy exigentes, correspondiendo a las presiones y temperaturas del sistema de refrigeración.

Por otra parte, deben cumplir con una elevada confianza respecto a la hermeticidad, tanto por razones de seguridad radiológica y nuclear, como por razones económicas en el caso de reactores de agua pesada.

En general, consisten en conjuntos motor-bomba, de motor hermético “acorazado”, con un sistema de sellos complejo, comúnmente del tipo laberíntico.

Las bombas de refrigeración producen la circulación del agua a través del Sistema de Refrigeración. Un caudal típico que proveen estas bombas es del orden de 20.000 m3/h.

3.1.9. Conjunto turbina - generador

Este conjunto está diseñado para transformar, con la mayor eficiencia obtenible, la energía contenida en el vapor vivo en energía eléctrica. En general, estos conjuntos están compuestos por tres subconjuntos: turbinas, generador y sistemas de intercambio de calor.

El subconjunto de turbinas está compuesto frecuentemente por una etapa de alta presión y dos o más etapas de baja presión, y transforma la energía contenida en el vapor en energía mecánica en la forma de rotación de un eje.

El subconjunto generador eléctrico transforma la energía mecánica de rotación en energía eléctrica. La tensión de salida es de alrededor de los 20kV y luego es transformada a 220kV o 500kV para su transmisión.

3.2. Sistemas de Seguridad

Los reactores nucleares son diseñados con una serie de sistemas de seguridad destinados a impedir la ocurrencia de accidentes con liberación de productos de fisión. En caso de ocurrir algún tipo de accidente, el objetivo es evitar el pasaje de estos productos al ambiente.

En el diseño de las plantas nucleares se deben prever sistemas capaces de cumplimentar los siguientes requisitos de seguridad:

· Detener el reactor y mantenerlo en condición de parada segura.
· Remover el calor residual del núcleo.
· Reducir las descargas de material radiactivo a valores inferiores a límites prescriptos.

Por lo tanto, las principales funciones de seguridad previstas en las plantas nucleares se orientan al control de reactividad, refrigeración del núcleo y confinamiento del material radiactivo. A tal efecto, es posible agrupar los sistemas en tres conjuntos: Sistemas de Protección y Actuación, Sistemas de Refrigeración de Emergencia y, Sistemas de Contención.

3.2.1. Sistemas de Protección y Actuación

Comprende los sistemas de Protección, de Actuación y de Monitoreo de Accidentes.

3.2.1.1. Sistema de protección

El sistema de protección (RPS) está diseñado para monitorear la operación del reactor y, cuando detecta alguna condición anormal, iniciar acciones automáticas. Previamente, a estas acciones, existen alarmas de aviso a los operadores cuando los límites de operación de los parámetros de interés están próximos a ser sobrepasados.
Entre los parámetros medidos por el RPS se pueden mencionar:

· Potencia térmica o neutrónica.
· Temperatura del sistema de refrigeración.
· Presión en el presurizador o en el sistema de refrigeración.
· Caudal del sistema de refrigeración.
· Presión de vapor en el lado secundario.
· Comparación entre caudales del Sistema de Alimentación de Agua y de Vapor.

3.2.1.2. Sistema de actuación

El sistema de actuación (RAS) está compuesto por todos los equipos requeridos para cumplir las acciones de seguridad solicitadas por el RPS.

A modo de ejemplo, se presentan algunas de las acciones de seguridad más comunes:

- Extinción del reactor mediante la inserción de barras absorbentes de neutrones en el núcleo.
- Extinción del reactor mediante la inyección de venenos neutrónicos en el moderador.
- Aislamiento de la Contención – cierre de las válvulas de las líneas de salida de la contención, que no cumplen función en la emergencia.
- Aislamiento de la ventilación de la Contención – cierre de los reguladores del sistema de ventilación, para reducir potenciales descargas.
- Pasaje de la ventilación del modo normal al modo de emergencia.
- Arranque de los diésel de emergencia para proveer energía de reserva.
- Apertura de los rociadores para reducir la presión dentro de la contención

3.2.1.3. Equipamiento de monitoreo de accidentes

La función del equipamiento de monitoreo de accidentes es la de proveer información precisa a los operadores en caso de ocurrencia de eventos base de diseño. Este equipamiento debe ser capaz de funcionar en condiciones de alta temperatura, alta presión y elevados campos de radiación. Por otra parte, el equipamiento debe ser capaz de soportar los eventos sísmicos del área.

Algunos parámetros típicos que se espera puedan ser monitoreados durante un accidente son:

- Nivel del reactor o nivel del presurizador según el tipo de reactor.
- Presión del sistema de refrigeración.
- Nivel y presión de los generadores de vapor.
- Indicación de posición de válvulas de descarga del presurizador y generadores de vapor.
- Hidrógeno en la contención.
- Presión en la contención.
- Monitoreo de altos niveles de radiación.

3.2.2. Sistemas de refrigeración de emergencia

Los sistemas de Refrigeración de Emergencia tienen la función de eliminar el calor residual del núcleo después de la parada del reactor, así como durante cualquier situación operacional, durante condiciones de accidente y después de las mismas.

Para cumplir con esta función, se requiere disponer de suficiente existencia de refrigerante, capacidad de transporte del calor y de sumideros de calor.

Usualmente, estos sistemas suelen agruparse como: Sistema de Provisión de Agua de Emergencia, Sistema de Refrigeración de Emergencia del Núcleo y Sistema de Agua Esencial de Servicio.

3.2.2.1. Sistema de provisión de agua de emergencia

Este sistema se denomina también sistema auxiliar de alimentación de agua. El propósito de este sistema es el de continuar proveyendo agua suficiente a los generadores de vapor para extraer el calor de decaimiento luego de detenido el reactor.

3.2.2.2. Sistema de refrigeración de emergencia del núcleo (ECCS)

Todas las plantas nucleares poseen algún sistema que permita refrigerar el núcleo para el caso que se pierda el sistema normal de refrigeración. Este sistema está compuesto por tres subsistemas, de alta, media y baja presión. Los mismos, suelen denominarse: sistema de refrigeración de emergencia alta presión o sistema de inyección de alta presión, sistema de refrigeración de emergencia de baja presión o sistema de inyección de baja presión, y sistema de inyección de agua de refrigeración al núcleo.

Las bombas de alimentación de emergencia usualmente están comandadas por un motor eléctrico. En algunos casos, pueden ser impulsadas por turbinas de vapor. Tratándose de motores eléctricos, su alimentación se asegura mediante generadores diésel que entregan la energía en caso de pérdida de la alimentación normal.

3.2.2.3. Sistema de agua esencial de servicio (ESWS)

Este sistema provee refrigeración a los equipos relacionados con la seguridad, que deben mantenerse en funcionamiento en accidentes. Los equipos típicamente refrigerados por estos sistemas son:

- Generadores Diésel
- Compresores de aire
- Intercambiadores de calor intermedios (refrigeración de componentes)

- Ventiladores de enfriamiento de la contención

3.2.3. Contención

El principio básico en el diseño de una planta nuclear es el de *defensa en profundidad*. De acuerdo a este principio, se interponen barreras sucesivas entre los productos de fisión radiactivos y el público, con el objetivo de evitar en lo posible las descargas radiactivas. Las cuatro barreras son: la matriz del combustible, la vaina de los combustibles, las cañerías y componentes del sistema de refrigeración y la contención.

La contención previene la liberación al ambiente de los productos de fisión en el caso de que fallen sucesivamente las otras barreras. Además, actúa como sistema supresor de presiones en accidentes que impliquen la ruptura de la barrera de presión del circuito de refrigeración.
Es una gran estructura de acero, usualmente con un domo semiesférico. Normalmente, la contención no es visible dado que suele estar cubierta por concreto que le provee aislamiento adicional y mejor estética. Está diseñada para soportar altas presiones internas, en el rango de los 3kg/cm^2 a 4 kg/cm^2.

La contención encierra al reactor, al sistema de refrigeración, bombas, intercambiadores de calor y presurizador (PWR). Posee unidades de ventilación o enfriamiento cuya función es refrigerar el ambiente en condiciones normales y accidentales. Con el fin de proveer refrigeración adicional y reducir la presión, se disponen aspersores montados en la parte superior de la contención.

En la parte inferior de la contención, se disponen sumideros que pueden ser utilizados durante condiciones de accidente. El agua del sumidero puede ser re circulada y refrigerada mediante un sistema específico, denominado Sistema de Remoción de Calor Residual.

4. TIPOS DE REACTORES NUCLEARES.

Sin pretender hacer una caracterización exhaustiva digamos primero que existe un consenso generalizado para clasificar los reactores de potencia en cuatro generaciones.

Primera Generación: Son las unidades, en general experimentales, montadas hasta fines de la década de 1950. Esta categoría se encuentra en desuso en la actualidad.

Segunda Generación: Diseñados entre la primera generación y fines de la década del ´70, los cuales se corresponden con la mayoría de los reactores en funcionamiento de la actualidad. Suelen ser conocidos por sus siglas en el idioma inglés, siendo los principales: LWR, PWR, PHWR, BWR, CANDU, RBMK, etc. Veremos algunos de estos más adelante.

Tercera Generación: Son los que se han diseñado desde 1990, de los que unos pocos comenzaron a operar a partir de 1996. Se los llama también reactores avanzados por ser una evolución de la segunda generación.

Cuarta Generación: Corresponden ya a diseños futuros. Probablemente, en los próximos años se llegue a construir algún prototipo que permita probar su factibilidad tecnológica. Seguramente, se trataran de líneas de muy alta temperatura, con empleo de sodio como refrigerante, en lugar de agua. El combustible nuclear tal vez tenga al Torio[11] como protagonista junto con el uranio y el plutonio. Seguramente producirán mucho menos residuo nuclear, venciendo una de las actuales debilidades de la tecnología. Seguramente, mejoraran aspectos de seguridad, competitividad y economía de construcción. Aún en una visión muy optimista no hay vistas que ningún reactor de este tipo entre en funcionamiento antes del 2030. Ahora bien, teniendo en cuenta el grave problema del calentamiento global, como producto de la excesiva emisión de gases de efecto invernadero (ejemplo, el dióxido de carbono CO_2) por los generadores que queman combustibles fósiles, la única alternativa para producir energía de base estaría en la cuarta generación. Aún con todos los desarrollos futuros que se puedan esperar, no existen hoy proyectos concretos ni solares, ni eólicos, ni de cualquier otra índole que puedan tornarse protagonistas.

Bajo una perspectiva mediata la tercera generación permitirá mejor aprovechamiento del combustible (lo que se llama mejorar el grado de quemado del mismo), diseños más estandarizados y/o modulares que bajen los costos tanto del capital como de la operación, simplicidad en las redundancias de los factores de seguridad y, fundamentalmente, la base de sistemas pasivos de seguridad, es decir, accionamientos que no requieren la acción humana o la utilización de energía eléctrica para su activación. La tercera generación (también puede encontrarse en alguna bibliografía especializada como Generación III +) considerará plantas con capacidades de entre 1000 MW y 2000 MW, es decir, grandes. Francia, Rusia, China, Corea del Sur y Estados Unidos tienen los diseños más avanzados en este tipo de reactores de potencia.

A continuación, se presenta un listado de los principales tipos de centrales nucleares para producción de energía eléctrica. Normalmente, estos reactores se suelen identificar por siglas que indican al personal perito el modo de funcionamiento del mismo y la tecnología empleada.

En grandes rasgos es importante conocer los siguientes:

- Pressurized Water Reactor (PWR): es el diseño predominante, representando el 70% del total de reactores en operación.
- Boiling Water Reactor (BWR): 15% del total de reactores operativos.
- Gas Cooled Reactor (GCR): este diseño cuenta con 21 unidades en operación.

[11] Tres veces más abundante que el Uranio, al desarrollo de este potencial combustible le hacen falta aún años de práctica. Tiene una gran ventaja, no puede usarse para la producción de armas nucleares.

- Advanced Gas Cooled Reactor (AGR:): este diseño cuenta con 15 unidades en operación.
- Pressurized Heavy-Water Reactor (PHWR): Argentina: Atucha + Embalse.
- VVER (PWR) de la Federación Rusa. Más de 68 reactores en operación, mayoritariamente en áreas de influencia de Rusia; pero también en Alemania, Ucrania y China.
- Reactor de Gran Potencia de Canal (RBMK) – ex URSS – Chernobyl.
- Liquid Metal Fast Breeder Reactor (LMFBR): 5 unidades en operación.

Los cuatro primeros diseños representan hoy más del 95% de los reactores en funcionamiento del mundo, y de este subgrupo más del 70% responde al diseño tipo PWR. El quinto tipo descripto, PHWR, reviste particularmente importancia en nuestro país, pues es el diseño que emplean las centrales nucleares argentinas.

4.1. Reactores de agua presurizada (PWR)

El PWR es el diseño de mayor difusión con más de 300 reactores en operación. Es un reactor de recipiente de presión, refrigerado y moderado con agua liviana. Son los reactores más compactos, con la mayor densidad de potencia, del orden de 100 MW térmicos por m^3 de volumen.

Los elementos combustibles consisten típicamente en arreglos de sección cuadrada de 17 x 17 barras cilíndricas y la cantidad de elementos combustibles es del orden de 200. Aproximadamente, un tercio de los elementos combustibles contienen barras de control en forma de barras similares a las de los combustibles, y se mueven dentro del arreglo combustible. El combustible es UO_2 enriquecido al 3% aproximadamente. En estos reactores la recarga de combustible se debe realizar con la planta detenida.

Posee tres sistemas de refrigeración separados: un sistema primario en el cual el agua (que se mantiene en fase líquida) extrae el calor del núcleo y lo transfiere en los generadores de vapor; un sistema secundario que extrae el calor de los generadores de vapor transformándose en vapor y entrega la energía en las turbinas; y un sistema terciario que refrigera el agua-vapor a la salida de la turbina mediante una fuente fría (río, lago o torre de enfriamiento). Resulta esperable que sólo el sistema primario – en contacto con el núcleo – posea radiactividad.

Por razones de seguridad de refrigeración, no se acepta la existencia de burbujas, salvo pequeñas burbujas denominándose ebullición nucleada. Por este motivo, es de gran importancia el control de la presión del sistema.

La presión es mantenida por un componente denominado presurizador, el cual está conectado a una rama del sistema de refrigeración. La presión se mantiene a 130 Kg/cm2 aproximadamente, mediante un sistema de calefactores e inyección de spray en el presurizador. El agua proveniente del reactor

es impulsada al generador de vapor, a través de tubos. Los circuitos de refrigeración primaria se encuentran dentro de la contención.

En el sistema de refrigeración secundario, el cual incluye el sistema de vapor principal y el sistema de alimentación de condensado, el agua enfriada es bombeada desde el sistema de alimentación de condensado, dirigiéndose a la parte externa de los tubos del generador de vapor, donde es calentada y convertida en vapor.

El vapor pasa a través de la línea principal de vapor hacia la turbina, la cual estando conectada mueve al generador. El vapor proveniente de la turbina es condensado en el condensador. El agua condensada luego es bombeada por las bombas de condensado a través del sistema de calentamiento de agua de alimentación de baja presión, posteriormente a las bombas de alimentación de agua, seguidamente al sistema de calentamiento de agua de alimentación de alta presión y, finalmente, a los generadores de vapor.

El condensador es mantenido a presión de vacío mediante bombas de vacío o utilizando inyectores de aire. El enfriamiento del vapor se realiza mediante el agua de refrigeración de condensado, el cual es impulsado a través del condensador por las bombas de circulación de agua las que toman el agua de la fuente fría (lago, río o torre de enfriamiento)

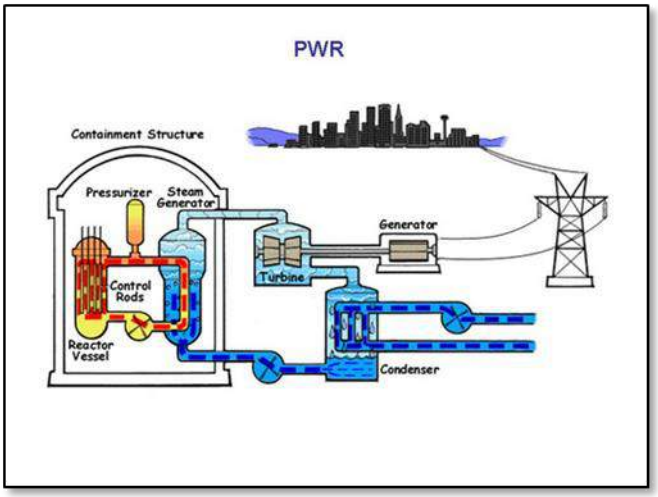


Fig. 2.7: Esquema de un PWR. Imágenes libres.

4.2. Reactores de Agua en Ebullición (BWR)

Es el segundo tipo más difundido de reactor para generación de energía eléctrica, con casi 100 centrales en operación. La característica típica del reactor BWR es que se alcanza la ebullición en la masa de agua del reactor. De esta manera, el vapor que se produce en el núcleo es utilizado directamente para mover la turbina.

Si bien la temperatura de operación del reactor es aproximadamente 300°C (equivalente a los reactores PWR), la presión de trabajo es del orden de la mitad, produciendo vapor a una presión promedio de 70kg/cm2. Por otra parte, la densidad de potencia es poco más de la mitad que en los PWR. Los elementos combustibles consisten típicamente en arreglos de sección cuadrada de 8 x 8 barras cilíndricas, y la cantidad de elementos combustibles es del orden de 700. El combustible consiste en pastillas de UO_2 enriquecido al 2,4 % en promedio.

Una característica del BWR es que las barras de control, utilizadas para detener el reactor y mantener una distribución de potencia uniforme, son insertadas desde la parte inferior debido a la presencia de los separadores en la parte superior y a la alta presión hidráulica del sistema. En este caso, no se regula la reactividad mediante venenos disueltos debido a que se podrían producir depósitos en las turbinas. El agua se hace circular a través del núcleo del reactor, extrayendo el calor a medida que atraviesa los elementos combustibles. Dicha agua incrementa suficientemente su temperatura hasta convertirse parcialmente en vapor. El vapor se dirige a la línea principal de la turbina-generador. Usualmente, el vapor circula en primer lugar por una turbina de alta presión, luego por un separador de humedad, y, posteriormente, por 2 o 3 turbinas de baja presión.

Las turbinas están conectadas una a la otra y éstas al generador mediante un eje común. El vapor, luego de pasar por las turbinas, es condensado en el condensador, el cual posee vacío y es refrigerado por la fuente fría, es decir agua de lago, río, etc. El vapor condensado, posteriormente, es bombeado al sistema de calentamiento de agua de alimentación de baja presión (mostrado pero no identificado). El agua se traslada luego a las bombas de alimentación las que envían el agua al reactor y recomienza el ciclo.

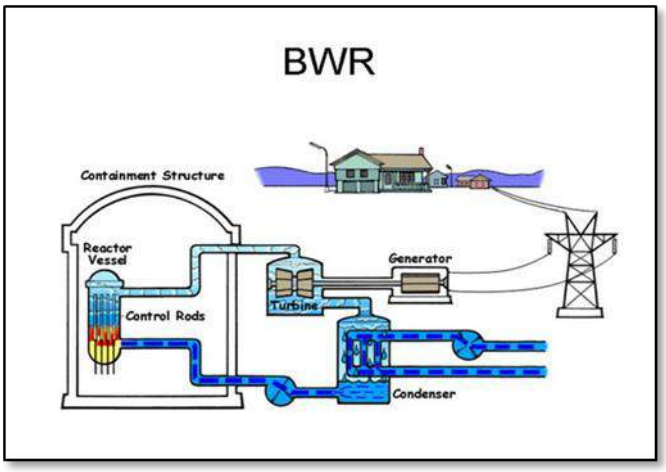


Fig. 2.8: Esquema de un BWR. Imágenes libres.

4.3. Diseño tipo CANDU (PHWR)

CANDU es una marca registrada de Atomic Energy of Canada Limited que significa "Canada Deuterium Uranium". Las principales características distintivas de este diseño son que como combustible utiliza Uranio Natural (0,7% ^{235}U) y como moderador y refrigerante agua pesada.

El diseño CANDU consiste en una calandria horizontal que posee tubos para alojar los elementos combustibles y permitir la circulación del agua de refrigeración (agua pesada). Alrededor de estos tubos, el agua pesada actúa como moderador para bajar la energía de los neutrones. El agua pesada (D_2O) es un moderador mucho más eficiente que el agua liviana, lo que permite utilizar uranio natural como combustible.

El agua pesada se obtiene en plantas especiales en las que se produce la separación entre ésta y el agua natural. Los átomos de deuterio representan aproximadamente el 1,5% del hidrógeno que se encuentra en la naturaleza. La separación del deuterio implica un mayor costo inicial, sin embargo será amortizado a lo largo de su vida útil por el menor costo del combustible.

Los elementos combustibles consisten en arreglos de aproximadamente 50 cm. de largo y de sección circular, que contienen de 37 barras cilíndricas. La cantidad de elementos combustibles es de 12 en cada uno de los 380 canales. El control de reactividad se lleva a cabo por absorbedores sólidos y líquidos, ubicados verticalmente en el moderador.

Debido a la menor densidad de material físil y a la mayor longitud de moderación, la densidad de potencia es sensiblemente menor (alrededor de 7,5MW térmicos por m3) y las dimensiones del núcleo son mayores.

Como en el caso de los PWR, el agua es impulsada por las bombas a través de los tubos, extrayendo la energía y transportándola a los generadores de vapor en un circuito cerrado. El sistema de moderador de agua pesada posee un conjunto de intercambiadores de calor separado, con un sistema de circulación propio para refrigerar el moderador.

Los tubos de presión del reactor CANDU (tubos que alojan los elementos combustibles) están presurizados a 108kg/cm2 aproximadamente, inferior al diseño PWR. El agua pesada del moderador se encuentra a una presión sensiblemente inferior. Debido a que el recambio de combustible se realiza durante la operación del reactor, la máquina de carga y descarga es un componente característico importante en este tipo de reactores.

El CANDU posee considerable redundancia en los equipos del sistema secundario a fin de operar ciclos prolongados (alta disponibilidad). Por otra parte, el quemado del combustible en los CANDU es de solo 6500 a 7500 MWD/ton U. En el caso de los reactores PWR y BWR, varía entre 33000 y

50000 MWD/ton U. Los reactores CANDU difieren de otros diseños en el uso más extensivo de sistemas de control basados en computadora, incluyendo el sistema de protección.

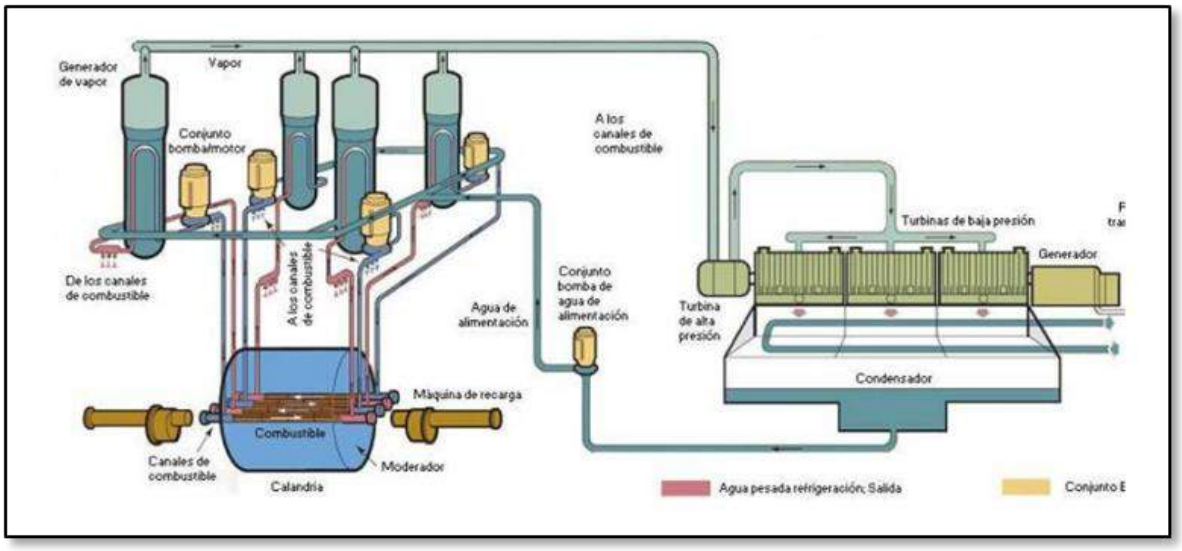


Fig. 2.9: Esquema de un PHWR tipo CANDU. Gentileza AECL.

4.4. Reactor VVER

Los reactores VVER son la versión rusa de los Pressurized Water Reactor (PWR). Existen tres diseños estándar: dos de seis circuitos de 440 MW (440-230 antiguo y 440-213 más nuevo) y otro de cuatro circuitos de 1000 MW. Al igual que en los PWR, la carga y descarga de combustible se realiza con la planta parada.

Como en las versiones PWR de Europa occidental y de EEUU, cada circuito de refrigeración incluye un generador de vapor y una bomba. El agua que refrigera el núcleo del reactor pasa a través de la parte interna de los tubos en el generador de vapor. El sistema se presuriza a 120kg/cm2 mediante un presurizador, el cual está conectado a uno de los circuitos de refrigeración. La presión del sistema se mantiene dentro de una banda mediante calefactores y válvulas Spray. La mayor diferencia entre los diseños PWRs y los VVERs es que estos últimos utilizan generadores de vapor horizontales. Las versiones más antiguas de VVERs poseen válvulas de aislación en los circuitos de refrigeración y compartimentos para localización de accidentes.

El agua que pasa por la parte externa de los tubos de los generadores de vapor se calienta y se convierte en vapor. El vapor pasa a la turbina, la cual acciona el generador eléctrico, de la misma forma que en los PWR. El diseño VVER400 incluye zonas de localización de accidentes y confinamientos antes que una contención propiamente dicha. El VVER 1000 posee una contención tradicional.

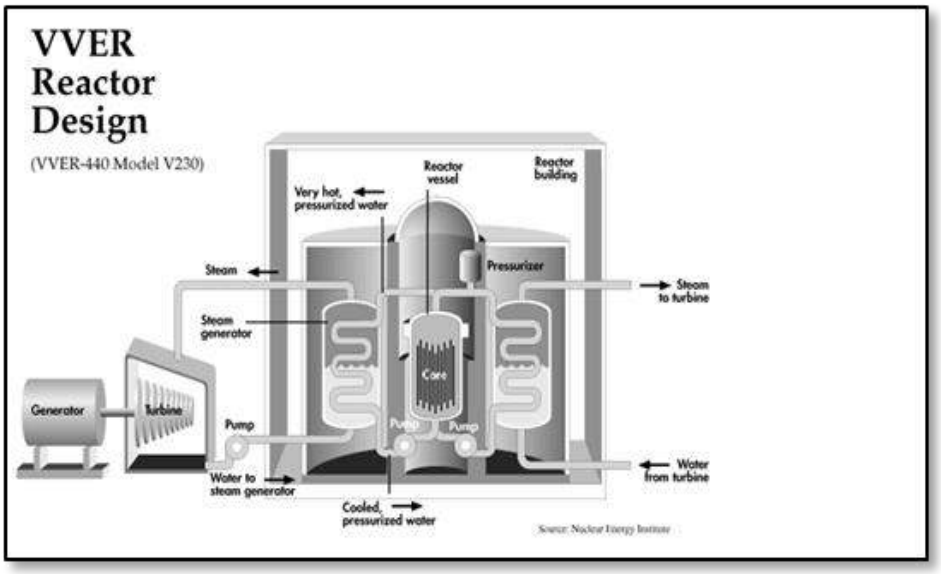


Fig. 2.10: Esquema de un VVER. Gentileza ROSATOM.

4.5. Reactor de Gran Potencia de Canal (RBMK)

El RBMK es el único tipo de reactor en el cual se utiliza moderador de grafito con tubos verticales, que atraviesan este grafito, que alojan los combustibles y por donde pasa el refrigerante. Los tubos de refrigeración llevan agua liviana a una presión de 70kg/cm2 aproximadamente. Del mismo modo que en el caso de los CANDU el cambio de combustibles se produce online. El reactor RBMK posee una gran estructura de grafito en forma de bloques que actúa como Moderador, disminuyendo la energía de los neutrones de fisión. Pasando a través del núcleo del reactor hay 1661 tubos, de aproximadamente 9 cm de diámetro, por los cuales circula el agua que extrae el calor producido por los combustibles.

Dentro de cada canal hay dos elementos que poseen 18 barras dispuestas a lo largo. Las barras combustibles tienen aproximadamente 13 milímetros de diámetro. La altura total del núcleo es de 6,4 metros. La estructura de grafito está contenida en un tanque de acero inoxidable de aproximadamente 12 metros de diámetro. A través del grafito se hace circular un caudal de una mezcla de helio-nitrógeno, a fin de refrigerarlo y evitar su oxidación.

El reactor cuenta con dos generadores de vapor horizontales y dos circuitos de refrigeración con colectores que alimentan los tubos de presión del reactor. En los reactores de diseño RBMK se produce ebullición. El vapor producido circula a través de Separadores de Vapor que separan el agua del vapor. El vapor se dirige, posteriormente, a la turbina al igual que en los reactores BWR. Como en el caso de los BWR, el vapor es radiactivo, sin embargo, los separadores de vapor introducen un retardo, por lo que el nivel de radiación cerca de la turbina es menor que en el caso de los BWR.

El diseño RMBK supo ser el más corriente en la URSS y el de las unidades de Chernobyl. Sus debilidades comprobadas fueron:

- Ausencia de una estructura de contención adecuada como barrera final contra grandes fugas de radiación en caso de accidente.
- Coeficiente de vacío positivo, lo que provoca incremento de la potencia en caso de pérdida de refrigerante.
- Sistemas de mitigación limitados.
- Insuficiente separación y redundancia de sistemas de seguridad y eléctricos.

4.6. Reactores Refrigerados Por Gas (GCR + AGCR)

En los reactores refrigerados por gas (GCR), el moderador es grafito y el refrigerante es dióxido de carbono, el que se hace circular a través del núcleo a una presión de aproximadamente 1,6MPa ó 16Kg/cm2.

Los elementos combustibles están compuestos por uranio natural metálico con una vaina de una aleación de magnesio conocida como Magnox, expresión por la que también se hace referencia a este tipo de reactor.

Los nuevos reactores avanzados refrigerados a gas (Advanced Gas Cooled Reactors, AGCR) utilizan dióxido de uranio levemente enriquecido con una vaina de acero inoxidable. El gas refrigerante es dióxido de carbono. Este diseño posee dos ventajas principales: mayores temperaturas de operación con mayor eficiencia térmica y no es susceptible de provocar accidentes comúnmente vinculados al tipo de los refrigerados/moderados por agua.

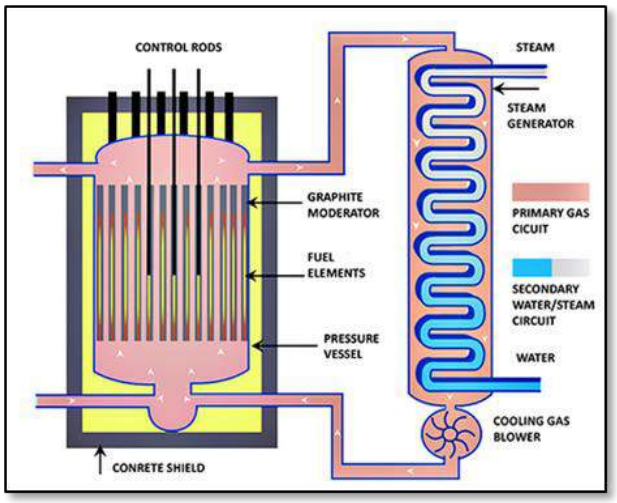


Fig. 2.11: Esquema de un GCR. Imágenes libres.

4.7. Reactores Refrigerados Por Metales (FBR)

Los reactores refrigerados por metal usualmente utilizan sodio líquido o una combinación de sodio y potasio. Estos reactores son también llamados reproductores; rápidos; o reproductores rápidos (Fast Breeder Reactors, FBR). Los países que realizaron mayores desarrollos en esta área son EEUU, Francia y Rusia.

En este tipo de reactores no existe el elemento moderador para los neutrones y por tanto el flujo de neutrones cae en la zona de los neutrones rápidos. El combustible de la zona central, formado por un óxido de uranio y plutonio, se rodea de una zona de óxido de uranio empobrecido, con un contenido de ^{235}U menor o igual al del uranio natural.

Con esta disposición, y si se usa un refrigerante que no produzca la moderación de neutrones (normalmente se emplea sodio líquido), se puede conseguir que en la capa de ^{238}U que rodea al combustible se genere más plutonio que el que se consume. De esta forma, al mismo tiempo que se está generando energía térmica, se está produciendo combustible en forma de ^{239}Pu, que puede usarse en cualquier tipo de reactor, tanto rápido como térmico.

Estados Unidos operó dos reactores experimentales de este tipo durante algunos años, en primer término el EBR-1, y posteriormente el EBR-2, en Idaho. El programa de desarrollo de reactores reproductores comerciales se paralizó a final de los ´70 debido a razones de no proliferación nuclear, amén de que estos reactores son muy onerosos y solo se justifican con precios del uranio cuatro veces los de hoy en día. Por otro lado, el primer desarrollo francés fue el reactor Phoenix y más tarde el Súper Phoenix; ambos cerrados. En Rusia (2012) se aprobó la construcción del primer reactor rápido BN-1200 del país en la central nuclear de Beloyarsky. La unidad está siendo construida, aunque muy demorada, para reemplazar a otro reactor de menor potencia, BN-600, que está previsto que cierre en 2020. Rusia tiene una larga tradición con prototipos de 2,5 y 10MW, y luego con los diseños BN-350, BN-600, BN-800, y BN-1200. Con una vida de operación de 60 años, el reactor se espera que tenga un factor de capacidad anual de, al menos, el 90%.

La central nuclear de Beloyarsky también tiene la unidad 3, un reactor BN-800 que está destinado a demostrar el uso de óxido mixto (MOX) como combustible a escala industrial.

5. REACTORES AVANZADOS.

5.1. Avanzados de Agua Liviana

En EEUU se han desarrollado tres tipos de reactores avanzados, dos denominados evolucionados y otro más innovador. Uno de los primeros es el reactor avanzado de agua en ebullición o Advanced Boiling Water Reactor (ABWR), de los cuales se hallan dos en operación comercial en Japón y otro

en Taiwán. Estos reactores se encuentran dentro del rango de los 1300MW. El otro de los evolucionados es conocido como System 80+, el cual es una versión mejorada de los PWR denominados System 80, de los cuales hay ocho en operación en Corea. El otro tipo de reactor avanzado es más pequeño, en el rango de los 600MW y con dispositivos de seguridad pasivos. Este diseño se conoce como AP-600, y ya se ha realizado otro diseño similar para 1000MW, el AP-1000.

En Europa, se están desarrollando tres diseños de acuerdo a los nuevos criterios de seguridad más rigurosos. Framatome está desarrollando un PWR de alto rango (más de 1750 MWe), y Rusia está desarrollado los VVER, en módulos de 640MWe y 1000MWe.

5.2. Avanzados de Agua Pesada

Canadá posee dos diseños en desarrollo, basados en el CANDU-6. El CANDU-9 (925-1300MWe) se basa en los diseños anteriores pero como planta simple. Los requerimientos del combustible son flexibles, pudiendo utilizar uranio natural, uranio levemente enriquecido, uranio proveniente del reprocesamiento de combustibles PWR, óxidos mixtos (U & Pu), o bien utilizar directamente combustible PWR quemado, quemar plutonio de uso militar o actínidos separados de los desechos del reprocesamiento de combustibles PWR/BWR.

El CANDU-NG es también un desarrollo basado en el CANDU-6. Su potencia nominal es de 600 MWe pero es físicamente más pequeño, más simple, más eficiente y un 40% más barato que el CANDU-6. El combustible utilizado es uranio levemente enriquecido (cerca del 1,5% U-235) con alto quemado de salida y con agua liviana como refrigerante. El diseño es de tipo modular y las unidades pueden ser ensambladas para lograr plantas de mayor potencia.

5.3 Diseñadores y Exportadores de Centrales Nucleares

En el mundo existen siete países construyendo sus propios diseños para generación nucleoeléctrica. Todos en base a reactores avanzados. Cinco de esos diseñadores se encuentran exportando a siete países.

Los siete diseñadores son:

1. EE.UU. que cuenta con el AP 1000;
2. Rusia con el VVER 1200 + KLT-40;
3. Francia: EPR;
4. China: CNP 600 (CANDU)+ AP 1000 + VVER 1000 + EPR;
5. Japón: ABWR;
6. India: PHWR 700 + VVER 1000;
7. Corea: APR 1400.

Y los cinco que se encuentran exportando en firme:

1. EE.UU.: 4 AP1000 en China
2. Corea: 3 APR1400 en EAU
3. Francia: 3 EPR en China y Finlandia
4. Rusia: 7 VVER en China, India, Eslovaquia y Ucrania
5. China: 2 CNP en Pakistán, 2 EPR en UK

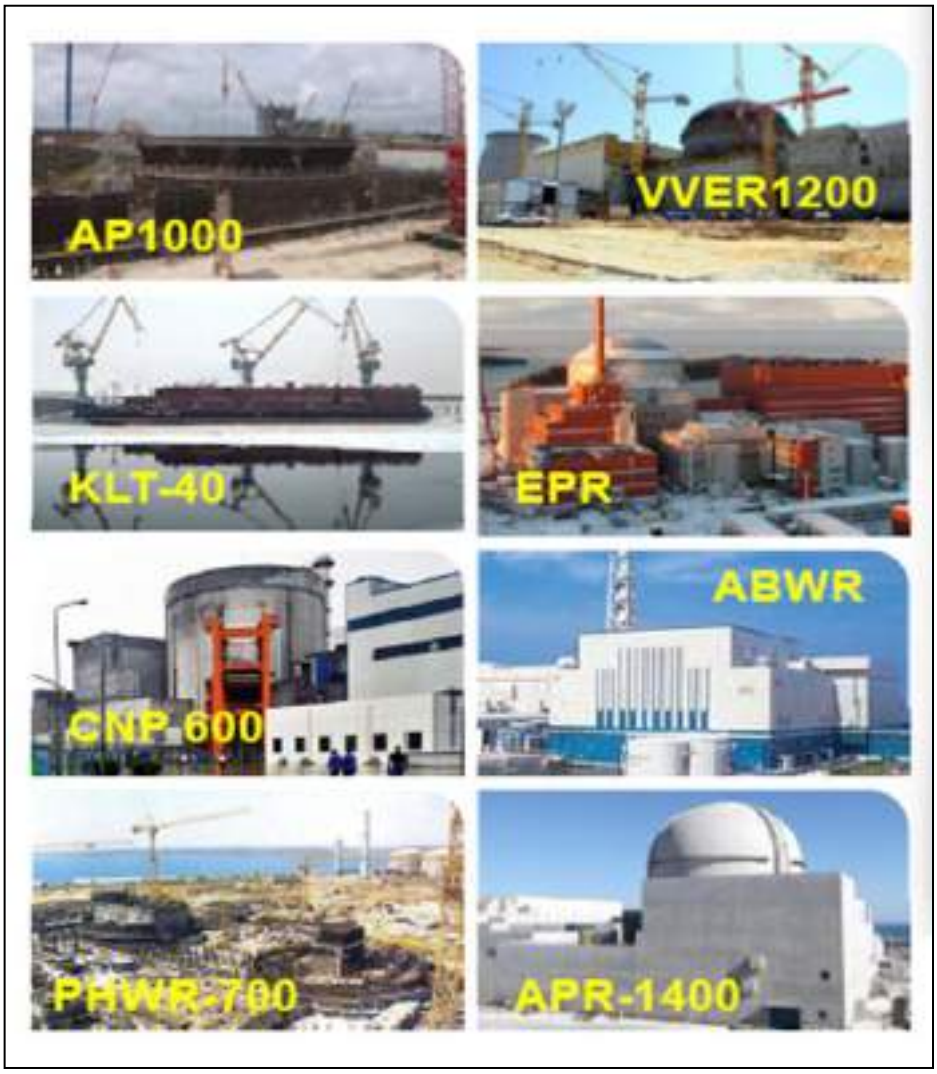


Fig. 2.12: Asociación Argentina de Tecnología Nuclear, XLI Reunión Anual

6. REACTORES MODULARES PEQUEÑOS – SHORT MODULAR REACTORS (SMR)

Este tipo de reactores merece claramente un apartado distintivo ya que gran parte de las apuestas futuras de la generación nucleoeléctrica, podría provenir de ellos. Existen varias tecnologías en desarrollo, de las cuales nuestro país es dueña de una de ellas. Entre las principales ventajas que podemos enumerar para estos diseños, tenemos:

- Reducción de los costos de capital, financiamiento y períodos de construcción, por tratarse de reactores pequeños[12].
- Diseño modular. Lo que permite incrementar la potencia mediante unidades en serie. Escalan con la demanda.
- Muy adecuados para proveer energía en zonas lejanas a los sistemas de transporte interconectados.
- De diseño simple, cuentan con medidas de seguridad intrínsecas: 1) el circuito primario fluye por convección natural; no hay bombas involucradas en la operación; 2) los generadores de vapor y los mecanismos de control se ubican dentro del recipiente de presión, es decir forman un sistema integrado; 3) cuentan con sistemas pasivos de seguridad, no requieren la intervención humana, ni energía.
- Pueden ser aplicados a otro tipo de uso. Desalinización y propulsión, entre otros.
- Diseño estandarizado. Para agilizar el licenciamiento y reducir los tiempos de construcción.
- Ofrecen menores demandas al momento de elegir los sitios de montaje. Mínimo impacto al ambiente.
- Económicamente más competitivos en la operación, que los PWR clásicos. Mayor grado de quemado del combustible.

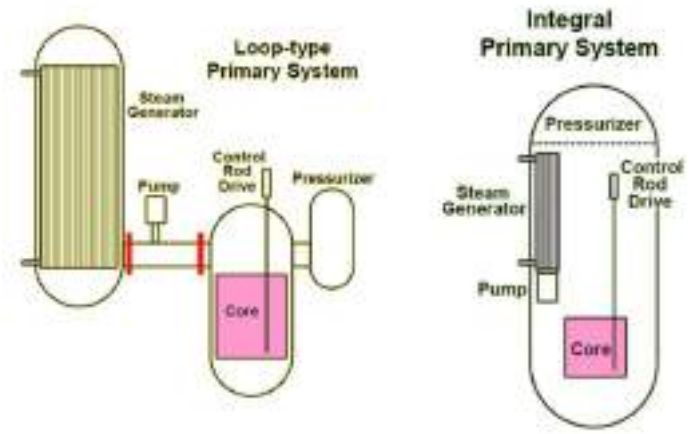


Fig. 2.13: A la izquierda de la imagen se muestra un esquema habitual en el circuito primario de un PWR. A la derecha, se muestra el esquema de un SMR, con el generador de vapor integrado y las barras de control dentro del recipiente de presión. Imágenes libres.

Argentina, Rusia, China e India tienen reactores modulares SMR en distintas etapas de construcción; mientras que Corea del Sur y EE.UU. aún se encuentran en etapas de diseño. Tanto China como Rusia tienen más de un diseño en carpeta.

[12] El OIEA define como SMR a aquel reactor con potencia inferior a 300 MWe

Country	Reactor Model	Output (MWe)	Designer	Number of units	Site, Plant ID, and unit #
Argentina	CAREM-25 (a prototype)	27	CNEA	1	CAREM-25
China	HTR-PM	250	Tsinghua Univ./Harbin	2 mods, 1 turbine	Shidaowan unit 1
India	PFBR-500 (a prototype)	500	IGCAR	1	Kalpakkam
Russian Federation	KLT-40S (ship-borne)	30	OKBM Afrikantov	2 FNPP	Akademik Lomonosov units 1 & 2

Fig. 2.14: Organismo Internacional de Energía Atómica.

7. RADIOISOTOPOS Y MEDICINA NUCLEAR.

7.1. Radioisótopos

Como hemos visto, la radioactividad es una energía liberada desde la estructura misma del átomo. Su generación puede ser tanto natural, es decir, producida por alguna clase de átomos o bien en el seno del universo, como la llamada radiación cósmica, como artificial, es decir, producida por el hombre en un reactor.

Comprender la radiactividad natural es simple si imaginamos un cielo estrellado y que cada estrella es un átomo. Si viviéramos millones de años veríamos que esas mismas estrellas se van apagando de manera aislada y aleatoria, pero inexorable. Así se comportan los átomos radiactivos, que en lugar de apagarse emiten energía y partículas en su desintegración.

La radiactividad natural existe en el aire que respiramos, y en la comida y en el agua que ingerimos. Claro que en pequeña, muy pequeña cantidad. Esta baja proporción le da tiempo a nuestro sistema inmunológico de generar, a nivel celular, mecanismos de reparación. Esto también es tenido en cuenta en la asignación de francos para pilotos y tripulaciones de cabina de aeronaves comerciales que, a 10.000 metros de altura reciben una mayor radiación cósmica que el personal en tierra.

Recordemos ahora el concepto de isótopo. Esta vez, lo ejemplificaremos con dos sustancias comunes de la naturaleza: el potasio -componente de la sal de mar y constituyente esencial del ser humano- y el hidrógeno -el elemento más simple de la naturaleza y constituyente esencial del agua. Sería lógico pensar que el potasio está formado por átomos iguales entre sí. Pero los científicos de laboratorio han demostrado mediante el análisis de su estructura atómica que esto no es así. En realidad, está compuesto por tres clases de átomos que difieren en la cantidad de neutrones en el

núcleo, y, por tanto, en su tamaño. De esta manera, encontraron tres tipos de potasio diferentes: potasio 39, potasio 40 y potasio 41. Particularmente el 40 es radiactivo. En otras palabras, mientras el tiempo transcurre, la cantidad de potasio 39 y 41 no varían, en tanto que la cantidad de potasio 40 siempre va disminuyendo (al ser radiactivo, va emitiendo energía y desprendiéndose de partículas). Algo similar ocurre con el hidrógeno. Existe el hidrogeno 1, el hidrogeno 2 y el hidrogeno 3. El 1 es el corriente, constitutivo del agua natural. El 2 tiene un neutrón en el núcleo, formalmente se denomina deuterio, y hemos visto que es constitutivo del agua pesada. La expresión coloquial "*pesada*" a menudo se utiliza para referirse a que pesa más que la "ordinaria", ya que el núcleo de deuterio tiene mayor peso que el núcleo de hidrógeno normal. El hidrogeno 3 o tritio es radioactivo. Entonces, es correcto decir que el potasio está formado por tres isótopos naturales; dos de ellos estables y un tercero radiactivo o inestable. De igual modo, el tritio es un radioisótopo del hidrógeno.

Si bien éstos son los naturales, existen muchos radioisótopos fabricados artificialmente por el hombre que se obtienen en instalaciones nucleares. Sus aplicaciones de cabecera se centran en la medicina, pero también en la industria y en la ciencia.

La tecnología de los radioisótopos ha sido otro de los aportes fundacionales de la energía nuclear.

7.2. Medicina nuclear

La medicina nuclear nace con la aplicación de isótopos radiactivos como trazadores dentro del organismo humano. Como no alteran la dinámica biológica y funcional de cada órgano, no se los considera nocivos y se los puede detectar en cantidades mínimas con instrumentos externos al cuerpo, evitando así prácticas de carácter invasivo para el paciente.

Todos los radio trazadores emiten radiación poco energética pero muy adecuada para el diagnóstico por imágenes. En general tienen un tiempo medio biológico relativamente corto y el organismo los elimina rápidamente. Combinados con equipos de tomografía computada + tomografía por emisión de positrones (PET-CT) se obtienen registros de la actividad metabólica y los mapas anatómicos de los órganos, con precisiones máximas que permiten observar la imagen del corazón, o de sus arterias o del cerebro mismo del paciente, facilitando al galeno el diagnóstico y tratamiento. En el caso específico del tratamiento de tumores, la energía nuclear ha contribuido de manera sustancial a mejorar la calidad de vida del paciente. La tele terapia de alta energía, la braquiterapia, la terapia con partículas, la captura de neutrones térmicos con boro, las terapias con protones, la radioterapia metabólica que guía al radioisótopo de manera específica a las propias células tumorales, el tratamiento del dolor en el caso de enfermedades óseas, son algunos de los aspectos comprendidos en su campo de acción.

Mucho del futuro próximo está depositado en la ayuda de la radiación nuclear para producir materiales que puedan ser sintetizados con la finalidad de generar nuevas funcionalidades como ser

láminas de plástico para piel artificial, o formas específicas que reemplacen huesos o puedan realizar injertos óseos, o cápsulas tratadas que puedan eliminar un medicamento dentro del organismo en función de su necesidad especifica.

Y en todo esto están los radioisótopos, enumerando a modo de ejemplo al Molibdeno-99, el Tecnecio-99m, el Iodo-131, el Cromo-51, el Samario-153, el Estroncio-90, el Fluor-18 DG, el Cesio-137, el Iridio-192, sólo por nombrar algunos relevantes.

Ante la incorporación de la tecnología nuclear en la medicina y los beneficios aportadas en la calidad de vida de la sociedad, sólo cabe preguntarse: ¿cuánto dolor ha menguado?; y lo que es aún más esperanzador, ¿cuántas vidas se han salvado?

7.3. Aplicaciones a la ciencia y a la industria

Tratar de cuantificar los aportes que la ciencia nuclear ha hecho a la vida resulta en tarea volumétrica siempre inconclusa, pues seguramente al terminar el escrito habrá tantas nuevas aplicaciones descubiertas que el manifiesto quedará obsoleto.

7.3.1. Carbono 14

Si decimos que todos los elementos de la naturaleza pueden agruparse en la tabla de Mendeleiev y pensamos en nosotros mismos como elemento de la naturaleza, descubriremos que efectivamente una adecuada combinación de ellos puede dar origen al ser humano. Básicamente carbono, hidrógeno, oxigeno, nitrógeno, fosforo, potasio, entre otras sustancias combinadas de infinitas formas, dan lugar a las células del organismo. Sin embargo, estos elementos no están fijos en el cuerpo, sino que una muy pequeña parte se intercambia día a día con la naturaleza. El hombre incorpora nuevos elementos a partir del aire, del agua, de los alimentos y a su vez elimina otros que al cabo de cierto tiempo podrán formar parte de otro organismo vivo, del lecho del rio, o de la tierra. La mayoría de los átomos constitutivos de los elementos tienen una edad muy avanzada. No obstante, hay otros jóvenes como el carbono-14 (isótopo del carbono-12 normal de la naturaleza), con la particularidad de que es inestable, es decir, como hemos ya visto, sus átomos tienden a desintegrarse en un tiempo preestablecido, como si tuviesen un reloj biológico.

Supongamos que existe un millón de átomos de C14 y que luego de diez años volvemos a contarlos. Claro que no encontraremos ese millón de átomos nuevamente, pues algunos de ellos habrán desaparecido como consecuencia de su naturaleza radiactiva, transformándose en partículas más pequeñas y emitiendo energía. La ciencia ha podido cuantificar este proceso de desintegración de forma tal que al cabo de 5730 años, la cantidad de átomos de carbono que contaríamos sería justo la mitad. Siguiendo el mismo cálculo, luego de otros 5730 años, la mitad de la mitad. Este proceso es conocido como vida media del elemento inestable.

Los organismos vivientes incorporan el C14, como lo hacen con el C12, de una forma normal y constante que se mantiene fija hasta el día en que el organismo muere. A partir de ese momento el C14 ya no está en equilibrio con la naturaleza y, como son radiactivos, comienzan a desaparecer. Entonces si encontramos restos fósiles en el Valle de los Reyes del Egipto antiguo y medimos que la cantidad de C14 es la mitad de la correspondiente a un humano vivo, podremos decir sin lugar a dudas que esos restos datan de 5730 años atrás. Esta técnica ha ayudado mucho como auxiliar de la historia y la arqueología en todo lo que respecta a la ubicación en el tiempo de restos orgánicos de hasta 50.000 años de antigüedad.

7.3.2. Física Forense

Hay diversas técnicas vinculadas con el campo nuclear que se utilizan como herramientas de la justicia para esclarecer complejas investigaciones. El análisis por activación neutrónica es un método que permite determinar concentraciones muy pequeñas de sustancias, como unas pocas partes por billón, en muestras tales como metales, ropa, maderas, entre otras superficies, de forma tal de identificar el origen de una sustancia y/o sus posibles contaminantes.

En casos donde intervienen armas de fuego, el análisis de residuos del disparo es útil para estimar la distancia a la que fue efectuado, confirmar la trayectoria del proyectil y/o determinar si una persona ha realizado el disparo. En estos casos se utiliza el microscopio electrónico de barrido, que emplea un haz de electrones, en vez de un haz de luz tradicional en el microscopio común. De esta manera, se pueden observar en detalle superficies tan pequeñas como un grano de arena. En efecto, mientras las observaciones ópticas se ven limitadas por la longitud de onda de la luz visible a una resolución del orden de un micrón (mil veces menos que un milímetro), una micrografía electrónica de barrido alcanza a resolver detalles a un nivel del orden de nanómetros (un millón de veces menos que un milímetro).

La espectrometría de energía dispersiva, conjuntamente con el microscopio de barrido (SEM/EDS) es una de las técnicas más completas que permiten combinar información elemental de cada partícula en base a su morfología, tamaño y distribución de la misma en la superficie de la muestra, posibilitando el esclarecimiento de causas de accidentes, indetectables por cualquier otro medio que se conozca.

Además, es utilizable en el análisis de falla de componentes en servicio, lo que permite determinar causas de rotura y prevención de accidentes.

7.3.3 Tomografía del Hormigón Armado

Así como la medicina emplea la tomografía como herramienta para el diagnóstico en los pacientes, la Tomografía del Hormigón Armado (THA) se utiliza para conocer el estado de estructuras industriales. La diferencia entre ambas radica en que, mientras la primera utiliza los rayos X, la segunda utiliza

radiación gamma proveniente de una sustancia radiactiva por su mayor poder de penetración. El principio elemental es el mismo y lo que se obtiene es una imagen bidimensional de los elementos en el interior del objeto de estudio.

En el caso del hormigón armado, donde el concreto aporta la resistencia a la compresión y la armadura metálica la resistencia a la tracción, posibilita verificar el estado de las mismas luego del paso del tiempo y/o por la corrosión de factores medioambientales. Esto es particularmente útil en el estudio de puentes, pilotes submarinos, silos, tesoros bancarios, edificios públicos, industrias y una larga lista.

7.3.4. Radio preservación.

Las radiaciones ionizantes que interactúan con la materia le transfieren energía que produce cambios físicos y químicos. Si la materia irradiada es materia viva, esos cambios se traducen en modificaciones biológicas que, manipuladas convenientemente, producen radio inhibición, radio desinfección, radio pasteurización y radio esterilización.

Varias son las aplicaciones pero pensemos primero en aquellos pacientes que poseen un sistema inmunológico deprimido. La ingesta de alimentos con un normal contenido de gérmenes, inocuos para personas sanas, puede ocasionarle daños severos. Sin embargo, cuando dichos alimentos son tratados con radiación gamma, los gérmenes quedan eliminados y ninguna de las características nutritivas, ni organolépticas de los alimentos quedan alteradas. Afortunadamente, gracias a este tratamiento la persona inmunodeprimida puede volver a ingerir productos frescos. Las bacterias y hongos como mohos y levaduras, son poderosos agentes que menguan la vida útil de los alimentos. Normalmente, la reducción de esta población se hace por los métodos tradicionales de pasteurización térmica, seguida por la refrigeración. No obstante, esto es imposible de realizar en alimentos frescos, como por ejemplo las frutas.

Las frutillas, las naranjas, las cerezas, los arándanos, las moras, los damascos, los duraznos, las peras, las manzanas y los higos tratados por radio pasteurización mantienen un tiempo de conservación que puede llegar a duplicar al natural, con lo que se facilita la logística de distribución y acceso a los mercados, además de poder ofrecer productos contra estación.

Los insectos caracterizados como plaga, que son considerados dañinos para los cultivos y/o una amenaza para los animales, pueden ser combatidos con técnicas diferentes a los plaguicidas, riesgosos por sus residuos tóxicos. La técnica de insectos estériles consiste en producir grandes cantidades de crías para luego esterilizarlas mediante radiación gamma y liberarlos en la zona afectada por la plaga. Así al acoplarse con insectos silvestres no producen cría y disminuye la población hostil. El mosquito de la malaria se trata con esta técnica.

Sin embargo, las radiaciones ionizantes también pueden utilizarse para alterar los cromosomas, de forma tal que se liberen únicamente insectos machos o producir efectos sobre la descendencia para que ésta resulte estéril.

En cuanto a las aplicaciones industriales, de igual manera se esterilizan productos médicos descartables como jeringas, gasas, prótesis, equipos quirúrgicos, productos odontológicos, piel proveniente de banco de tejidos para injertos, productos farmacéuticos, suero bovino, productos cosméticos, entre una extensa lista de productos que crece con el avance de la ciencia.

7.3.5. Otros. Desalinización – Propulsión – Gammagrafía Industrial.

Al día de hoy la desalinización de aguas vía el uso de energía nuclear es una realidad. Su principal ventaja es que no consume las grandes cantidades de energía que necesitan las plantas de ósmosis inversa. La propulsión de embarcaciones militares es un hecho desde 1954. La propulsión de vehículos espaciales a través del Sistema de Propulsión Nuclear Térmica (Nuclear Thermal Rockets – NTR) también está disponible, así como los generadores de radioisótopos termoiónicos en los cuales el calor nuclear se usa para crear una diferencia de potencial eléctrico entre dos electrodos metálicos. La radiografía industrial o gammagrafía (ya que su fuente emite este último tipo de radiación) es ampliamente utilizada para el análisis estructural de gasoductos y oleoductos, como ensayo no destructivo. Durante la práctica se coloca una fuente de radiación cerca del objeto que será estudiado, y se obtiene una radiografía del mismo. La atenuación diferencial que producen los defectos de las soldaduras o del volumen de la pieza, produce imágenes de los mismos en las placas radiográficas.

Hasta aquí, los principales. Sin embargo, muchos otros usos pueden ser consultados por el lector, ávido de mayor información. Lo que sí es claro, es que el manejo de la energía nuclear conlleva un conjunto estricto de buenas prácticas asociadas a la protección de las radiaciones ionizantes. En el apartado siguiente daremos una idea de los efectos nocivos de las mismas.

8. EFECTOS BIOLOGICOS DE LAS RADIACIONES.

Pocos asuntos científicos han provocado tanta controversia pública como los efectos de la radiación. Controversia dada tanto por el desconocimiento del tema de aquellos que, sin base científica, opinan, como también por aquellos que teniendo el conocimiento necesario, no logran concientizar a la sociedad ya sea por omisión o por impericia comunicacional.

La radiación ha estado en el universo desde su origen mismo, hace algo así como 13 mil millones de años atrás. De hecho, intervino en el *big-bang*, la teoría más consensuada sobre el origen de todo lo que conocemos. Esta “gran explosión” esparció por el cosmos infinidad de materiales, algunos de los

cuales se dispersaron y continúan hoy viajando, mientras que otros tantos se unieron mediante colisiones y atracción de fuerzas gravitacionales, formando lo que en la actualidad denominamos planetas. Algunos de estos planetas quedaron orbitando alrededor del Sol, nuestra estrella más cercana, constituyendo así el Sistema Solar, el cual representa una infinitésima parte de la Vía Láctea[13], nuestra galaxia. Los estudios científicos más certeros estiman que en la vía láctea existen no menos de 200 mil millones de estrellas, de ahí que el sistema solar sea sólo una hoja en la inmensidad de la selva. Caracterizada por tener una estructura en forma de espiral, la vía láctea tiene un diámetro aproximado de 100 mil años luz. Para imaginar cuánto equivale esta unidad de medida, resulta didáctico pensar en que la luz necesita 100 mil años para llegar de un punto a otro de la galaxia. Si nos impresionamos por lo diminuto de las dimensiones atómicas, cuanto más por la inmensidad del Universo[14].

El Comité Científico de las Naciones Unidas sobre los efectos de la Radiación Atómica (UNSCEAR), creado por la Asamblea General de la Naciones Unidas en 1955, tiene por misión recopilar y evaluar, a nivel internacional, los datos disponibles sobre las fuentes y los efectos de las radiaciones. . El seno del Comité nuclea al componente científico más especializado en el tema. Si bien no establece ni recomienda normas, proporciona información relativa a la radiación que es tomada por organismos como la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) y las autoridades nacionales de cada país. Son estos últimos los que, finalmente, establecen las normas internas que rigen las actividades de cada nación.

Por otra parte, la radiación suministrada en grandes dosis puede causar daños severos a los tejidos, incluso provocar la muerte. Esto, que en principio tiene una connotación negativa, también puede ser beneficioso. La medicina utiliza fuentes puntuales de irradiación para matar células anormales cancerígenas. Asimismo, como hemos visto, entre una “x” multiplicidad de aplicaciones, además de ser una fuente de energía, permite realizar diagnósticos médicos, diagnósticos industriales, preservar alimentos, esterilizar, desinfectar, entre tantas otras. Entonces, ¿cómo protegernos de las radiaciones?

8.1. Clasificación de los efectos biológicos.

El proceso de ionización supone necesariamente cambios en átomos y moléculas, aunque sólo sea en forma transitoria, lo que a veces puede dañar a las células. Si se producen daños celulares y no se

[13] Puede observarse de noche, en la inmensidad del firmamento, una línea de estrellas y gases cósmicos circundantes que dan efecto de un hilo blanco en la oscuridad y que los griegos interpretaron como la leche brotando del pecho de Hera. De allí su nombre de vía láctea para el mundo que se construyó en base a la historia griega.

[14] La edad del Universo se calcula en 14,000 millones de años. Si por un momento redondeamos este valor a 12,000 quiere decir que en un mes calendario, podríamos representar 1,000 millones de años. Una hora del mes serían 42 millones de años y 7,000,000 de años serían 10 minutos del calendario. Toda la vida conocida en la Tierra se reduce a solo 10 minutos del tiempo calendario del Universo.
Y recuerde, todo el sistema solar es una hoja en la selva del Cosmos. Usted vive en 1 de las 100,000 trillones de estrellas inferidas en nuestro Universo. Se siente pequeño?

reparan adecuadamente, puede ocurrir que las células afectadas mueran o se vea impedida su reproducción, o bien que se origine una célula viable, pero modificada. Ambos extremos tienen implicancias profundamente distintas para el organismo.

Si el número de células que murieron es lo suficientemente elevado se producirá un daño susceptible de ser observado, dado que será el reflejo de una pérdida de funcionalidad del tejido. La probabilidad de que se produzcan tales daños será nula a dosis pequeñas, pero por encima de un determinado nivel de dosis, denominado umbral, aumentará rápidamente hasta la unidad (100%).

Si la transformación se produce en una célula cuya función es transmitir información genética a generaciones posteriores, llamada célula germinal en gónadas, el efecto de variado tipo y gravedad se expresará en la descendencia de la persona expuesta. Este tipo de efecto estocástico se denomina ''hereditario''. Si, en cambio, la transformación ocurre en una célula somática podría dar lugar, luego de un largo período de latencia, a la inducción de un cáncer (carcinogénesis).

Básicamente los efectos de las radiaciones en el hombre se pueden clasificar en dos ramas: la estocástica y la determinística.

Los efectos determinísticos son aquellos en los que la gravedad del efecto y su frecuencia varían en función de la dosis. La relación dosis-efecto tiene un umbral. El 100% de frecuencia de un efecto determinístico se logra con una dosis suficiente como para alcanzar el umbral de severidad en toda la población.

Los efectos estocásticos son aquellos en los cuales la probabilidad de que se produzca el efecto es en función de la dosis, mientras que la severidad del mismo es independiente de la dosis, y no presenta umbral. Se producen como consecuencia del daño sobre una célula o un pequeño número de células. Son ejemplos de efectos estocásticos son los efectos carcinogénicos y los efectos hereditarios de las radiaciones ionizantes.

8.1.1. Efectos determinísticos.

Los efectos determinísticos son la consecuencia de la sobreexposición externa o interna, aguda, fraccionada o prolongada sobre todo o parte del cuerpo, provocando la muerte de una cantidad de células tal que no puede ser compensada por la proliferación de células viables. La pérdida resultante de células puede causar deterioros severos de la función de un órgano o tejido, clínicamente detectables. El estudio de los efectos determinísticos sobre el cuerpo consiste en el análisis de la distribución espacial y temporal de dosis sobre el mismo.

Los efectos letales de la radiación se expresan a través de la insuficiencia de determinados órganos vitales para el organismo. Estas insuficiencias se evidencian luego de distintos períodos de tiempo de

acuerdo a la cinética celular de los tejidos afectados. La secuencia de eventos se caracteriza por una combinación de signos observados y síntomas manifestados, es decir síndromes. La severidad de las manifestaciones clínicas depende de la dosis, y esta relación se puede agrupar de la siguiente forma:

- 0 a 0,25 Gy[15]: No hay manifestaciones clínicas. Se puede detectar un aumento en la frecuencia de aberraciones cromosómicas en linfocitos.
- 0,25 a 1 Gy: Sin síntomas o náuseas transitorias. En sangre, se puede observar una disminución de linfocitos y, a veces, leve reducción del número de plaquetas. Se detectan aberraciones cromosómicas en linfocitos. En algunos pacientes, se registran cambios en el electroencefalograma.
- 1 a 2 Gy: Grado leve de la forma hemopoyética[16]. En un porcentaje de los sobreexpuestos, se presentan náuseas y vómitos en las primeras horas. A las 6-8 semanas disminuye el número de granulocitos neutrófilos y plaquetas, pero esta reducción no es suficiente para facilitar infección y hemorragia. Se debe realizar seguimiento hematológico. La mayoría de los pacientes se recupera sin tratamiento.
- 2 a 4 Gy: Grado moderado de la forma hemopoyética. La mayoría de los sobreexpuestos presentan náuseas y vómitos luego de 1 - 2 horas. Los niveles más bajos en el número de neutrófilos y plaquetas se alcanzan en 3-4 semanas, acompañados de fiebre y hemorragia. Con las condiciones terapéuticas actuales todos los pacientes tienen posibilidad de recuperarse.
- 4 a 6 Gy: Grado severo de la forma hemopoyética. Las náuseas y vómitos aparecen luego de 0,5 - 1 hora. Provoca fiebre y eritema en piel y mucosas. Los valores más bajos en el recuento de neutrófilos y plaquetas ocurren entre la 2da y la 3ra semana, persistiendo durante 2 semanas. Sin tratamiento, la mayoría de los pacientes mueren como consecuencia de hemorragias e infecciones. Sin embargo, si se aplica tratamiento de sostén, la mayoría de los sobreexpuestos tienen posibilidad de recuperación.
- 6 a 10 Gy: Grado extremadamente severo de la forma hemopoyética. Las náuseas y vómitos aparecen dentro de los 30 minutos posteriores a la sobreexposición. Un alto porcentaje de sobreexpuestos presenta diarrea en 1-2 horas. Los niveles más bajos de neutrófilos y plaquetas se detectan en 10-14 días. Sin el tratamiento correspondiente la mortalidad alcanza el 100%. Si la terapia es la apropiada, y se aplica tempranamente, una fracción de los sobreexpuestos se puede recuperar. La mortalidad en estos casos está dada por la asociación entre la grave insuficiencia hemopoyética y lesiones en otros órganos, tales como el tracto gastrointestinal y el pulmón.

[15] Gray: Unidad de dosis absorbida de radiaciones ionizantes por un determinado materia, derivada del Sistema Internacional de Unidades.
[16] Proceso de formación y desarrollo de los elementos de la sangre a partir de un precursor indiferenciado (células madre).

> 10 Gy: Se desarrollan las formas gastrointestinal, cardiovascular y neurológica. Cualquiera fuese el tratamiento aplicado la letalidad es del 100%.

En el caso de los efectos determinísticos localizados, la gravedad del daño que puede ser tolerado por un tejido u órgano depende de varios factores involucrados: nivel de depleción celular que produce disfunciones en los tejidos, momento de manifestación del daño, capacidad de reparación y recuperación del tejido, volumen incluido en el campo, dosis total administrada, tiempo total y número de fracciones en que se subdivide la dosis. Las reacciones más comunes son aquellas producidas sobre la piel, que forman parte de lo que se denomina Síndrome Cutáneo Radio Inducido, pudiendo presentarse distintos grados de lesiones asociadas, desde simples enrojecimientos hasta ulceraciones y/o esclerosis. Además, podrían presentarse efectos localizados en aparato digestivo, respiratorio, cardiovascular y/o sistema nervioso central.

8.1.2. Efectos estocásticos.

Se denomina carcinogénesis a la sucesión de eventos que llevan a la aparición de un cáncer. Se incluyen bajo esta denominación a un conjunto de enfermedades que pueden afectar distintos órganos, que tienen como elemento común el crecimiento celular ilimitado, invasivo y potencialmente letal. El sustrato fisiopatológico del cáncer es una afectación severa del comportamiento celular como consecuencia de anomalías genéticas que se traducen en alteraciones en la producción y la función de numerosas proteínas. La manifestación clínica de un cáncer es el resultado final de una serie de cambios celulares producidos a lo largo de un tiempo muy prolongado (años), denominado período de latencia. Es un proceso complejo, de etapas múltiples, que tiene su origen en mutaciones relativamente simples a nivel del ADN. En la actualidad se acepta la teoría monoclonal del origen del cáncer. Se entiende por clon a una “familia” de células que se originaron inicialmente en una única célula “madre” que dio por resultado dos células “hijas”, las que a su vez se duplicaron y dieron origen a cuatro células, y así sucesivamente dando como resultado un clon.

Es fácil darse cuenta de que bajas dosis de radiación implican incrementos muy pequeños de daño adicional en el ADN con muy poca implicancia en la inducción de cáncer. De cualquier manera siempre cualquier dosis, por pequeña que sea, se asociará a un incremento del riesgo. La probabilidad de ocurrencia de un cáncer dependerá, al menos parcialmente, del número de células inicialmente afectadas, dado que a mayor número de clones de células transformadas aumenta la probabilidad de que al menos uno logre sobrevivir y transitar todas las etapas. Así, tomando en consideración el cuerpo de datos disponibles acerca de la biología molecular y celular del cáncer radio inducido, hay un fundamento para la aceptación de la existencia de una relación directa entre el riesgo de cáncer y la dosis absorbida sin existencia de umbral.

8.2 Diferencias entre Irradiación Externa y Contaminación Interna

8.2.1 Irradiación Externa.

La irradiación externa puede ser irradiación de todo el cuerpo (homogénea o no homogénea) e irradiación externa localizada. Se enfoca ahora la atención sobre la irradiación de cuerpo entero.

Una vez realizado el *triage*, y clasificado el número de personas potencialmente expuestas en forma externa, es necesario arribar a una instancia confirmatoria del diagnóstico a través de la utilización de dosímetros e indicadores biológicos de sobreexposición (muestras seriadas de sangre y orina). Naturalmente, esta instancia se experimentará en pacientes hospitalizados. Los modelos de tomas de muestras están en estrecha relación con los recursos de cada país. Idealmente, a mayor número de recursos biológicos, mejor será la aproximación a la dosis y al pronóstico de cada caso.

En el caso del tratamiento terapéutico y sin adentrarse de lleno en el tema, dado que por su complejidad y especialización requiere un análisis más profundizado, se pueden enumerar someramente algunas estrategias:

- Tratamiento de la sintomatología: del dolor y del proceso inflamatorio.
- Tratamiento preventivo de las complicaciones: infecciosas y funcionales.
- Tratamiento curativo de las complicaciones: sobre todo las infecciones.
- Tratamiento quirúrgico de las necrosis: cirugía de exégesis (eliminación de tejidos dañados) con o sin injerto posterior / cirugía conservadora / cirugía reparadora de lesiones.

8.2.2 Contaminación Interna.

La contaminación interna se produce por la incorporación de radio nucleídos a través de la vía digestiva, de la vía respiratoria o a través de soluciones de continuidad en piel y mucosas (heridas, quemaduras, etc.). En este punto, resulta importante destacar que la magnitud de la carga radiactiva incorporada es la que establece si se está frente a una urgencia terapéutica.

La administración de iodo estable para bloqueo tiroideo está indicada ante la presunción de contaminación interna con radio iodos (por ejemplo: liberación accidental de productos de fisión en una instalación nuclear). El iodo estable bloquea en un 98 % el ingreso de radio iodos a la glándula tiroides si se lo administra unos minutos antes de la incorporación. Si la administración es simultánea la eficacia desciende al 90 % siendo del orden del 50 % cuando el iodo se administra entre 4 y 6 horas post-incorporación. Mediante un mecanismo de dilución isotópica compite con el radio iodo por el ingreso al compartimiento tiroideo. Habitualmente, los comprimidos que se utilizan contienen el iodo en forma de ioduro de potasio (un comprimido de 130 mg de ioduro de potasio contiene 100 mg de iodo activo).

8.3. Intervención médica en emergencias radiológicas y nucleares.

Las exposiciones accidentales a las radiaciones ionizantes plantean un desafío a la hora de la toma de decisiones médicas destinadas a modificar el curso evolutivo de la patología radio inducida, así como el abordaje prospectivo de la misma. En el caso particular de una emergencia radiológica que involucra un número significativo de personas, se impone un criterio de clasificación de las víctimas, denominado triage, con el objeto de diferenciar en forma preliminar, los casos severos de aquellos que no lo son.

El *triage* es un procedimiento que combina variables clínicas, dosimétricas y bioquímicas para la categorización de personas sobreexpuestas, en grupos de riesgo. Es un recurso de aplicación en las etapas tempranas del evento. Como puede intuirse, este procedimiento es de suma importancia para la optimización de recursos hospitalarios disponibles.

De un *triage* inicial pueden emerger cuatro categorías:

1. Individuos libres de cualquier tipo de exposición a las radiaciones.
2. Individuos sobreexpuestos por irradiación externa o no, pero con injurias combinadas, y contaminación externa o interna.
3. Individuos que recibieron niveles de dosis que exigen algún grado de seguimiento médico pero no hospitalización.
4. Individuos que recibieron una dosis que requiere hospitalización.

En relación a la irradiación externa puede decirse, en términos generales, que dosis:

< 1Gy requieren seguimiento clínico y hematológico ambulatorio.
1-2 Gy seguimiento en una unidad de internación convencional.
2-4 Gy seguimiento en unidad hematológica.
> 4Gy manejo especializado en unidad de trasplante de médula ósea.

9. ACUERDO INTERNACIONAL PARA LA REPRESENTACIÓN DE ACCIDENTES O INCIDENTES NUCLEARES. ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATOMICA.

En el último apartado del capítulo queremos dejar presentada la Escala Internacional de Accidentes Nucleares (International Nuclear Event Scales – INES) que permite homologar la gravedad de los accidentes según sus causas y consecuencias. Cada nivel representa el aumento del nivel de gravedad del escalón inmediatamente inferior, multiplicado por diez. Chernobyl (1986) y Fukushima (2011) fueron los únicos que alcanzaron el nivel siete (accidente grave). Three Mile Island (USA) fue caratulado como nivel cinco (accidente con riesgo fuera del emplazamiento). En tanto en el ámbito doméstico, el único

accidente producido en nuestro territorio alcanzó el nivel cuatro (es decir sin riesgo fuera del emplazamiento)[17]

[17] Derivado de una falla humana de operación en el RA-2, produjo el deceso del técnico operador (1983)

Capítulo III

INSTRUMENTOS INTERNACIONALES DE NO PROLIFERACIÓN

"Los fuertes hacen lo que desean y los débiles sufren sus abusos"
Tucídides

"Nosotros, los pueblos de las Naciones Unidas, resueltos… a reafirmar la fe en la igualdad de derechos de las naciones grandes y pequeñas…"
Carta de las Naciones Unidas

1. GENERALIDADES, SALVAGUARDIAS Y SEGURIDAD

El régimen internacional de no proliferación nuclear constituye el marco político y de obligaciones jurídicas dentro del cual se rigen las actividades de naturaleza atómica de las naciones, cuya columna vertebral es el Tratado de No Proliferación de Armas Nucleares (TNP). Componen asimismo dicho régimen numerosos instrumentos vinculantes complementarios, suplementarios, correlacionados y anexos que tutelan derechos y obligaciones de las naciones adherentes.

La República Argentina ha abogado por la universalización del TNP desde que adhiriera a él en 1995, y ha sostenido siempre una política comprometida en materia de no proliferación, siendo el uso pacífico de la energía nuclear una constante decisoria en materia de política de Estado. En este sentido, ha desarrollado una serie de normativas y procedimientos internos destinados a garantizar tanto la seguridad de las operaciones como el control de los materiales que, hipotéticamente, podrían ser desviados para la construcción de armas de destrucción masiva. Paralelamente, en el ámbito regional, desde el año 1994, Argentina forma parte del Tratado para la Proscripción de Armas Nucleares en América Latina, comúnmente conocido como Tratado de Tlatelolco[1] (Ley 24.272). Cabe añadir que, pese a que el origen de ambos acuerdos data de la década del '70, nuestro país no ha adherido plenamente a los mismos sino luego de transcurridos más de treinta años.

[1] Ciudad de México donde se encuentra depositado el instrumento. El OPANAL (Organismo para la Proscripción de las Armas Nucleares en América Latina y el Caribe) es el órgano destinado a asegurar el cumplimiento de las obligaciones emanadas del acuerdo.

Dentro del conjunto de instrumentos vinculantes mencionado se halla también un convenio inédito que, debido a su contenido e implicancias, ha alcanzado repercusión mundial. Nos referimos al Acuerdo para el Uso Exclusivamente Pacífico de la Energía Nuclear que nuestro país ha desarrollado en conjunto con la República Federativa del Brasil en 1991 y del cual derivan tanto la creación de la Agencia Brasileño-Argentina de Contabilidad y Control de Materiales Nucleares (ABACC)[2] como el Acuerdo Cuatripartito, firmado en Diciembre de ese mismo año por las respectivas Repúblicas, la ABACC y el Organismo Internacional de Energía Atómica (Leyes 24.046 y 24.113).

Por otra parte, Argentina pertenece al grupo de países proveedores nucleares, *Nuclear Suppliers Group* (NSG), también denominado Club de Londres, y al Comité Zangger; ambos creados con el objetivo de verificar que las transacciones de materiales nucleares y/o potencialmente constitutivos nucleares entre naciones sean destinadas a usos exclusivamente pacíficos. En concordancia con tal línea política, el Poder Ejecutivo estableció, en 1992, la Comisión Nacional de Control de Exportaciones Sensitivas y Material Bélico (CONCESYMB)[3], atribuyéndole la función de reglamentar la comercialización de las exportaciones de materiales, equipo, tecnología, asesoramiento científico, servicios de índole nuclear y misilísticos, así como también de sustancias químicas que puedan favorecer la producción y/o despliegue de armas de naturaleza nuclear, química o bacteriológica.

Argentina forma parte también del Tratado para la Prohibición Completa de Ensayos Nucleares (*Comprehensive Test Ban Treaty* o CTBT), firmado en 1998 (Ley 25.022), que venía a aunar y complementar un grupo de instrumentos previos, como el Tratado Antártico de 1959 y el Tratado para la Proscripción de Ensayos con Armas Nucleares en la Atmosfera, el Espacio Exterior y en Aguas Submarinas de 1963. Es en el marco del CTBT que se ha establecido a lo largo del territorio un grupo de estaciones de monitoreo que, por medio de detectores sísmicos y de radiación, permiten determinar e informar sobre la detección de cualquier evento.

El CTBT es el mismo que en Noviembre de 2017 detectó la implosión del submarino ARA San Juan en el Mar Argentino, al través de Puerto Madryn.

Asimismo, Argentina ha suscripto varios convenios de Cooperación Nuclear bipartitos con diversas naciones, cuya especificidad varía según el alcance de la cooperación convenida. Solo a modo de ejemplo citamos el suscripto con el gobierno de la Federación de Rusia para la Cooperación en los usos pacíficos de la Energía Nuclear, del 12 de julio de 2014; y que se adjunta como anexo.

Para una comprensión completa de los tratados internacionales suscriptos deberían agregarse a la lista anterior: 1) La Convención de Viena sobre la Responsabilidad Civil por Daños Nucleares (Ley

[2] Nótese que este instrumento surge con anterioridad a la firma de Tlatelolco.

[3] La comisión está integrada por representantes de los siguientes Ministerios: Relaciones Exteriores, Hacienda y Defensa (este último ejerce la Secretaría). En los casos de exportaciones nucleares se suma la Autoridad Regulatoria Nuclear.

17.048); 2) La Convención de Seguridad Nuclear (Ley 24.776); 3) La Convención Conjunta sobre Seguridad en la Gestión de Combustibles Gastados y Gestión de Desechos Radiactivos (Ley 25.279); 4) La Convención sobre Pronta Notificación de Accidentes Nucleares (Ley 23.731) y 5) La Convención sobre Protección Física de los Materiales Nucleares (Ley 23.620). Todo este compendio más el Estatuto del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) comprende el digesto de los tratados internacionales suscriptos por la nación Argentina.

En el ámbito interno tenemos: 1) La Ley Nacional de la Actividad Nuclear (Ley 24.804); 2) El Régimen de Gestión de Residuos Radiactivos (Ley 25.018); 3) La Ley General de Ambiente (Ley 25.675); 4) La Ley de Residuos Peligrosos (Ley 24.051) y 5) dos decretos: a) El 1390/98 que reglamenta la Ley Nacional de la Actividad Nuclear y b) El 603/92 que reglamenta el Régimen de Control de las Exportaciones Sensitivas y de Material Bélico. Amén de un conjunto de normas regulatorias impuestas por la Autoridad de Regulación Nuclear (ARN).

En suma, nos hemos referido hasta aquí a los principales instrumentos que, junto al TNP, constituyen el régimen internacional de no proliferación nuclear. Al respecto debemos tener presente que, como es frecuente en todo tratado, muchos países han efectuado diversas reservas a los mismos, motivo por el cual se torna difícil conocer a ciencia cierta cuál es el grado de protección que la comunidad internacional posee en virtud de los mismos. No obstante, resulta por demás necesario debatir este punto, prestando especial atención a la identificación y abordaje de los temas de interés para nuestro país, asunto al cual nos abocaremos en lo sucesivo.

No obstante, previo a comenzar dicho análisis, resulta pertinente referirnos sintéticamente a algunas cuestiones de naturaleza semántica, principalmente debido a que el concepto de control nuclear nos obliga a utilizar una definición lingüística exacta de los vocablos derivados del idioma inglés "*Safeguards"*, "*Safety"* y "*Security"* a fin de evitar enredos.

El significado literal tanto del término inglés *safeguards* como del castellano *salvaguardias* -en otros idiomas traducido como *garantías*- se funda en la raíz latina *salvus* (lo que no daña), a la que se añade el vocablo germánico *ward* (cuidado/custodia). Es decir que, en sentido literal, el término *safeguards* refiere a medidas destinadas a cuidar y custodiar aquello que haga que la energía nuclear se emplee con fines exclusivamente pacíficos. En tanto, la definición formal estipula que *safeguards* son aquellas acciones destinadas a certificar que la información y los materiales, servicios, equipos, instalaciones nucleares no sean utilizados de modo que contribuyan a fines militares. El término denota así el control que es necesario ejercer a fin de evitar desviaciones desde actividades pacíficas hacia aquellas de carácter bélico o violento.

En cuanto a *Safety* y *Security*, como vemos, se trata de dos términos distintos y diferenciados en inglés; sin embargo, en muchos otros idiomas se utiliza un vocablo común como traducción de ambos. En castellano, esa palabra es *seguridad*, concepto que suele ser especificado con el

agregado de los adjetivos "*tecnológica"* y "*física"*. Seguridad tecnológica constituye entonces la acepción de *safety*, mientras que seguridad física es la traducción de *security*. No obstante, una interpretación literal de los mismos puede conducir a acepciones erróneas, ya que ambos conceptos incluyen campos de acción del otro.

En el plano de la energía nuclear, *Safety* se refiere a las características que limitan la plausibilidad de ocurrencia de malfuncionamientos, incidentes o accidentes nucleares y radioactivos que pudieran conllevar a lesiones a personas y/o daños ambientales. El término *Security*, por su parte, deriva de *securus*, que devino sinónimo de *cuidado,* y se refiere a las características que evitan la posesión no autorizada de instalaciones y materiales nucleares y radioactivos, así como cualquier actividad nuclear no permitida, previniendo que se ceda en su control o que se adquieran indebidamente.

Por último, s*afeguards, safety* y *security* son conceptos que se aplican tanto a los materiales nucleares como a los radioactivos. Por consiguiente, nos detendremos brevemente en algunas cuestiones relevantes vinculadas a ambos materiales.

La característica sobresaliente del material nuclear es su particularidad de ser fisible. Los materiales fisibles son: ^{233}U, ^{235}U, ^{239}Pu, ^{241}Pu y cualquier combinación de los anteriores[4]. Visto que todos ellos son necesarios para la producción de dispositivos nucleares explosivos, haciendo uso de salvaguardias, el OIEA se encarga de verificar su declaración, control y emplazamiento en tiempo y espacio, siendo esto aplicable también a ciertos materiales no nucleares esenciales para la utilización o producción de material nuclear.

La terminología "material radiactivo" se utiliza genéricamente en alusión a cualquier material que emite radiación o partículas ionizantes que guardan relación con tales emisiones. Con todo, esta definición científica debe ser diferenciada de la definición reglamentaria, que limita lo especificado a aquello que queda bajo control reglamentario debido al grado de radiactividad[5].

Todos los materiales nucleares son materiales radiactivos; sin embargo, sólo los materiales radiactivos que se ajustan a la definición de material nuclear son materiales nucleares. Si el material radiactivo se encuentra encerrado en una cápsula, se lo llama fuente sellada, presumiéndose, por tanto, que la cápsula continente es lo suficientemente resistente para mantener la estanqueidad de las condiciones de uso y desgaste para la que fue concebida y/o ensayada. Por otra parte, pese a que sólo con materiales radiactivos y bajo la definición anterior no podemos lograr un artefacto explosivo, éstos pueden ser utilizados por igual para fines espurios.

[4] El Estatuto del Organismo Internacional de Energía Atómica segrega a su vez entre materiales fisionables especiales y materiales básicos.

[5] Para la legislación Argentina es el Ministerio de Salud quien tiene competencia sobre el control de los equipos de rayos X, mientras que para otras fuentes mayores de uso médico, es la Autoridad Regulatoria Nuclear el órgano de contralor.

Es dable entender que cualquier país posee materiales radiactivos, como sería el caso de un simple equipo de rayos X instalado en una unidad sanitaria. Los materiales nucleares, en cambio, se encuentran bajo el dominio de muy pocos países: tan sólo aquellos que detentan programas nucleares con fines civiles y, por supuesto, los que tienen programas militares.

Otro de los conceptos fundamentales a definir es el de control nuclear, el cual comprende todas las acciones necesarias y suficientes para proteger a la humanidad y al medio ambiente, resguardándolos de los efectos detrimentales que podrían resultar del desarrollo nuclear, incluyendo la posible promoción de acciones bélicas o terroristas. La realización de tal objetivo se sustenta en tres puntos: 1) garantizar mediante *safeguards* apropiadas que no haya dispersión alguna de materiales nucleares, desde programas pacíficos hasta eventuales militares; 2) prevenir mediante la *security* apropiada la posesión no autorizada y/o uso ilegal y/o malévolo de materiales nucleares y/o radiactivos; y, 3) certificar mediante *safety* apropiada que el uso de materiales nucleares y/o radiactivos no causará daño o lesiones a personas y al ambiente. Este concepto primordial de control nuclear internacional constituye la base de la creación de la International Atomic Energy Agency (IAEA), léase Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), que opera como organismo de contralor internacional en la materia.

Hecha la aclaración semántica pertinente a fin de interpretar correctamente el análisis subsiguiente, procederemos, en primer lugar, a introducir el Tratado de No Proliferación, examinar su articulado y analizar los motivos que llevaron a que Argentina[6] no adhiriera al mismo sino hasta mediados de la década del ‘90. Igual tratamiento presentaremos en el caso de Tlatelolco, para luego entrar de lleno en los acuerdos regionales entablados con la República Federativa de Brasil. El estudio de estos tres instrumentos deviene de suma importancia puesto que los mismos constituyen elementos imprescindibles para la comprensión de las cuestiones que hacen a la posición diplomática de nuestra Cancillería en asuntos nucleares.

2. TRATADO DE NO PROLIFERACIÓN DE ARMAS ATÓMICAS

El Tratado de No Proliferación de Armas Nucleares, firmado en 1968, ha sido considerado por las naciones no industrializadas o en vías de desarrollo un mecanismo de discriminación que favorece a un grupo selecto y minúsculo de potencias compuesto, no casualmente, por los cinco miembros permanentes con derecho a veto del Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas, a saber: EE.UU., el Reino Unido, Francia, Rusia y China. Pues, desde la perspectiva de los países periféricos, el TNP constituye un instrumento clave de poder concentrado exclusivamente en manos de dichos cinco

[6] …y algunos otros países como Brasil.

países, situación que se traduce en la emergencia de un nuevo elemento de inestabilidad, en un mundo que se encuentra ya surcado por profundos desequilibrios.

Reproduciendo en cierto modo lo sucedido en el ámbito americano con el Tratado de Tlatelolco, la Argentina fue presionada en reiteradas oportunidades para que firmase el TNP; coacción a la que ha respondido, a lo largo del transcurso de los sucesivos gobiernos, en forma consistentemente negativa. Sin ceder ante la presión ejercida por las potencias, nuestro país ha demostrado absoluta firmeza y cohesión política frente a dicha situación, sosteniendo dicha postura de rechazo hasta el año 1995.

Los términos “no proliferación” y “no diseminación” nuclear comenzaron a ser utilizados hacia mediados de la década de 1960. En línea con lo antedicho acerca de un mundo atravesado por profundos desequilibrios, estos conceptos han sido -y continúan siendo- a menudo ligados a intereses económicos de perpetuación de las ventajas adquiridas y de mantenimiento de la hegemonía tecnológica por parte de los países más avanzados, dificultando a los demás países el desarrollo de su propia industria y manteniendo, en consecuencia, la reproducción de una relación ampliamente desigual entre naciones que proveen y naciones que son abastecidas. En este sentido, los países en vías de desarrollo han sostenido que los Estados poseedores de conocimientos tecnológicos han formulado la teoría según la cual la tecnología nuclear destinada a usos pacíficos es indistinguible de aquella aplicada a usos militares, con la clara intención de que dichos saberes -y los beneficios de ellos derivados- quedaran reservados exclusivamente a ellos. De ser así, la conclusión lógica resulta evidente: la finalidad de dicha formulación teórica es en definitiva evitar la disponibilidad de materiales, equipos y tecnología, antes que proscribir su utilización con fines militares.

Finalmente, este debate condujo, en 1968, a la firma del TNP (vigente desde 1970) que, en la óptica de la Cancillería argentina y en línea con el razonamiento esgrimido por los países periféricos, ha constituido una pieza maestra de la discriminación internacional, en tanto tiende a consolidar el oligopolio económico-tecnológico de las potencias nucleares, circunscribiendo a dichas naciones el derecho a un cabal desarrollo de la energía nuclear. En lo sucesivo desarrollaremos exhaustivamente los artículos que integran el Tratado en cuestión y las implicancias de cada uno de ellos. No obstante, previamente presentaremos, a modo de breve introducción, algunos elementos imprescindibles para una adecuada comprensión del alcance del TNP.

El Tratado está compuesto por once artículos de los cuales podemos deducir el establecimiento de tres obligaciones esenciales. En primer lugar, los países no poseedores de armas nucleares no pueden adquirir ni producir armas o explosivos nucleares, a la vez que deben someter todo el material atómico, en todas las actividades bajo su jurisdicción, a las salvaguardias del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), con sede en Viena. Las potencias, por su parte, mantienen en los hechos y en el derecho el secreto de sus investigaciones y realizaciones. En segundo término, los países nuclearmente avanzados garantizan facilitar el intercambio de equipos, materiales y

tecnología, así como no impedir el desarrollo de la producción y los usos pacíficos de la energía nuclear por parte de todos los Estados miembros del Tratado. Sin embargo, pese al compromiso asumido, la cooperación internacional ha estado lejos de concretarse satisfactoriamente. Por último, las potencias se comprometen a detener la carrera armamentista y a negociar de buena fe un tratado general de desarme. No obstante, lejos de ello, actualmente nos encontramos con arsenales atómicos que poseen la capacidad de destruir varias veces el planeta.

Resulta interesante referirnos en este punto a lo expuesto por la diplomacia Argentina, la cual ha considerado que el TNP encierra en sí mismo elementos que vedan la posibilidad de su universalización. En tal sentido, ha observado que el Tratado no impide, en rigor, la proliferación de armas nucleares, sino que evita su adquisición por parte de los Estados que carecen de ellas, sin restringir en cambio la producción y sofisticación de armamentos llevadas a cabo por los países poseedores, que desde 1968 han duplicado la cantidad de arsenal atómico. Cabe asimismo añadir que, pese incluso a dar vía libre a la proliferación, el TNP no ha representado ayuda alguna para la promoción de la energía nuclear en sus usos pacíficos, así como tampoco ha establecido un equilibrio de obligaciones y responsabilidades entre los poseedores y los no poseedores de armas nucleares. Finalmente, la obligación que han asumido las potencias acerca de la “fecha cercana” para acordar “medidas eficaces a la cesación de la carrera de armamentos nucleares” conlleva características irónicas, no sólo para la década del ’70, sino también en nuestros días.

2.1. Génesis del TNP

Como vimos en el Capítulo I, el mundo conocería la dimensión de la energía nuclear con fines destructivos en 1945, en ocasión del lanzamiento de los dos artefactos explosivos por parte de los EE.UU. Luego, se sucederán nuevas explosiones, realizadas por el resto de los miembros del Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas: la Unión Soviética, Gran Bretaña, Francia y China. Fue en este contexto que, en el año 1963, el presidente Kennedy expresó: “Estoy obsesionado por la sensación de que en 1970 […] pueda haber diez potencias nucleares en vez de cinco, y hacia 1975, quince o veinte”. Ciertamente, un mundo en el que esas terroríficas armas existieran en los arsenales de una cantidad creciente de países se tornaría cada vez más peligroso e inseguro, razón por la cual su proliferación fue justificadamente materia de inquietud en la comunidad internacional. A pesar de ello, algunos de sus miembros insistieron de todas formas en su deseo de continuar esgrimiendo ese instrumento bélico que otorgaba prestigio y poder. Tal era el caso de las dos superpotencias de la época, EE.UU. y la ex URSS, que no veían con buenos ojos la posibilidad de que surgieran nuevos competidores que desafiaran su poderío. Resultó natural, entonces, que buscaran dar forma a un tratado internacional que prohibiera la proliferación de armas nucleares o, más bien, que éstas estuvieran en manos de Estados que no fueran los 5 que ya las poseían; tratado cuya negociación se efectuaría hacia mediados de la década del ‘60 en Ginebra, en el seno del Comité de Desarme.

Si hacemos una génesis del surgimiento de este tipo de tratados, la primera aproximación hacia un intento de controlar los armamentos nucleares tuvo lugar en 1946, bajo el Plan Baruch. Dicho Plan especificaba la creación de una Autoridad Internacional para el Desarrollo Atómico, dotada con la capacidad de ser propietaria de todas las actividades nucleares potencialmente dañinas para la seguridad mundial, de controlar licencias e inspeccionar todas las demás actividades nucleares, y de promover la utilización beneficiosa de la energía nuclear. Asimismo, Estados Unidos se comprometía a renunciar a la fabricación de armas nucleares y a destruir las existentes cuando el Tratado entrara en vigor. Con todo, el Plan Baruch no prosperó. Quizás por falta de precisión o, tal vez, producto de la desconfianza mutua de los países vencedores de la Segunda Guerra y/o porque la comunidad internacional, hacia 1946, no era lo suficientemente madura aún como para aceptar una forma de gobierno mundial.

El 8 de Diciembre de 1953 el presidente de los EE.UU. Eisenhower pronunció el discurso "Átomos para la Paz" en la Asamblea General, hecho que significó un giro en la estrategia norteamericana y marcó el fin de la anterior política de mantener todas sus actividades nucleares bajo un estricto secreto. Reconoció entonces que los secretos del átomo fueron adquiridos por otros países. Tanto la ex URSS como Gran Bretaña ya habían hecho estallar sus bombas, por lo que era necesario aunar esfuerzos para asegurar que el desarrollo de esa fuente de energía constituyese un beneficio, y no un problema, para la humanidad. En este marco, el Programa "Átomos para la Paz" preveía la creación de un organismo de cooperación en energía nuclear, que finalmente se concretaría en el año 1957, con la creación del OIEA.

Continuando con los principales hitos arrojados por la referida génesis, el 1 de Diciembre de 1959 fue suscripto en Washington el Tratado Antártico, cuyo Artículo V agrega que "toda explosión nuclear en la Antártida y la eliminación de desechos radiactivos en dicha región quedan prohibidos" y expresa en su Artículo I que "la Antártida se utilizará exclusivamente para fines pacíficos y a tal efecto quedan prohibidos los ensayos de toda clase de armas".

Años más tarde, el 5 de Agosto de 1963, fue suscripto en Moscú el tratado por el cual se prohíben los ensayos con armas nucleares en la atmósfera, el espacio ultraterrestre y debajo del agua. El mismo no contó con la adhesión de Francia ni de China, mientras que nuestro país lo ratificaría recién el 30 de Julio de 1986, mediante la sanción de la Ley N° 23343. Esta demora de cerca de tres años se debió a la reticencia que generaba la omisión en el cuerpo de dicho Tratado de una cuestión trascendental, a saber: la ausencia de una discriminación entre explosiones con fines militares y aquellas con fines pacíficos, eje crítico que se esgrimiría nuevamente en el caso del TNP, manteniéndose como pilar de la controversia ante la negativa de nuestro país a adherirse en tales condiciones. Volveremos luego sobre este punto, así como también sobre la no inclusión de una explicitación de qué se entiende por "armas nucleares".

Por último, el Tratado sobre el Espacio Ultraterrestre, firmado en 1967, establece en su Artículo IV que “los Estados Partes en el Tratado se comprometen a no colocar en órbita alrededor de la Tierra ningún objeto portador de armas nucleares ni de ningún otro tipo de armas de destrucción en masa, a no emplazar tales armas en los cuerpos celestes ni en el espacio ultraterrestre en ninguna forma”.

Podemos concluir entonces que, previo al TNP, han existido numerosos documentos e instrumentos jurídicos de diversa índole que han hecho referencia al tema nuclear y, específicamente, a prohibiciones de ensayos o emplazamientos de armas.

Hemos señalado que, hacia mediados de la década del ’60, se iniciaron las negociaciones del TNP. Al respecto cabe mencionar que diversos autores han objetado por inapropiada la utilización de dicho término para definir el proceso que derivó en la firma del Tratado en cuestión, argumentando que el mismo no había consistido propiamente en una negociación, sino en una clara imposición por parte de las potencias poseedoras a los países no poseedores. Salvando estas cuestiones terminológicas, la pseudo negociación tuvo lugar entre EE.UU. y la ex URSS en el particular contexto de la Guerra Fría, en el que ambas potencias discordaban en todo aquello vinculado a asuntos político-económicos, salvo en lo referido a impedir que el arma nuclear estuviera bajo el poder de otros Estados. En consecuencia, las dos superpotencias procedieron a discutir bilateralmente sucesivos proyectos de tratados hasta lograr convenir un texto unificado, que luego someterían a consideración del Comité de Desarme. Finalmente, en 1968, habiendo prevalecido en las cuestiones de mayor trascendencia la voluntad de dichos Estados, las Naciones Unidas le dieron el visto bueno al proyecto.

El texto final del TNP dio lugar a numerosas críticas y resultó sumamente insatisfactorio debido, en parte, a las dificultades propias de la materia y a los distintos intereses en juego, pero, fundamentalmente, producto de su propia índole. Es decir, por tratarse de un acuerdo internacional cuya finalidad era vedar a la gran mayoría de las naciones la posibilidad de acceder al desarrollo de un arma que algunos pocos Estados ya poseían, siendo por el contrario lo habitual en los pactos de desarme anteriores y posteriores al TNP que éstos limiten o prohíban ciertas armas o técnicas por igual a todos los Estados Partes.

No menos importante es que, más allá de la insatisfacción respecto al texto definitivo, el atractivo que el TNP pudiera despertar se veía ampliamente disminuido en vistas del completo desconocimiento acerca del éxito que pudiera alcanzar. Pues el propósito mismo del Tratado quedaría desvirtuado si la ratificación no fuera realizada por la totalidad de los países involucrados, ya que quienes no accedieran a firmar gozarían en ese caso de múltiples ventajas respecto al conjunto de Estados firmantes.

Dicho esto, procederemos en lo que sigue a analizar su articulado y sus respectivas implicancias.

2.2. Artículo I

"Cada Estado poseedor de armas nucleares que sea parte en el Tratado se compromete a no traspasar a nadie armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos ni el control sobre tales armas o dispositivos, sea directa o indirectamente; y a no ayudar, alentar o inducir en forma alguna a ningún Estado no poseedor de armas nucleares a manufacturar o adquirir armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos, ni el control sobre todas armas o dispositivos explosivos".

Este primer artículo nos sitúa ya ante la ineludible tarea de abordar una serie de interrogantes por él planteados, pues condensa en unos pocos renglones una compleja amalgama de conceptos, expresiones y obligaciones que nos obligan a ir más allá en el análisis emprendido. Un primer punto sobre el cual debemos detenernos consiste en poner de manifiesto cuáles son los Estados que integran el conjunto de los "poseedores de armas nucleares". Avanzando un poco en la lectura del Tratado, encontramos que el Artículo IX se refiere a los mismos como aquellos que hayan hecho explotar un arma nuclear u otro dispositivo nuclear explosivo antes del 1 de enero de 1967. Por lo tanto, de acuerdo con el mencionado artículo, para acceder al status de país poseedor no basta con haber fabricado un arma nuclear, sino que es preciso además haberla hecho explotar y que dicha explosión se haya llevado a cabo antes de determinada fecha. De lo antedicho se desprenden, a su vez, nuevos interrogantes, a saber: cuál sería el status de un Estado que hubiera fabricado un arma sin haber ejercitado ninguna explosión, habiéndose de hecho admitido que ello es posible e incluso habiendo quienes afirman que Israel se encuentra en esa situación.

Resulta interesante mencionar el caso del primer ensayo nuclear de índole pacífica que realizara India el 18 de Mayo de 1974, el cual nos lleva a preguntarnos acerca de la importancia de los fines implicados y, nuevamente, de las condiciones o requisitos que hacen a un Estado poseedor. Respecto a estas cuestiones, es de notar que la letra y el espíritu del Tratado no establecen diferencia alguna entre un ensayo con fines pacíficos y la explosión de un arma nuclear. Sin embargo, no ocurre lo mismo cuando consideramos el régimen por él instaurado ya que, para ser considerado "Estado poseedor de armas nucleares", el hecho tiene que haberse producido antes del 1 de enero de 1967. Esta condición no es tan arbitraria como podría parecer a primera vista, pues, en tanto el propósito del Tratado es imposibilitar la aparición de nuevos Estados dueños de armas nucleares, de no haberse establecido una fecha límite, un país podría no suscribir al mismo, desarrollar y explotar su arma nuclear, y luego adherirse reclamando el status de privilegio que el TNP otorga a los países nucleares, lo que hubiera significado una abierta burla al sentido original y fundamental de dicho acuerdo.

En cambio, resulta sí arbitraria la existencia de una situación privilegiada para las potencias dueñas de armas nucleares a la que da lugar el régimen del Tratado. Esta desigualdad promueve el interés, dañino para el propio TNP, de escapar de una categoría para "ascender" a otra, objetivo que no

detentaría atractivo si los Estados poseedores tuvieran obligaciones equivalentes a los países no nucleares, mas sin por ello dejar de tener presente las diferencias existentes entre unos y otros.

Uno de los problemas fundamentales consiste en que el sistema previsto por el TNP establece una diferenciación y categorización de países demasiado simple, sobre todo teniendo en cuenta la complejidad del asunto al cual refiere. Frente a ello, Suecia creyó conveniente realizar una clasificación que distinga cuatro clases de Estados: a) las superpotencias, b) otros Estados con arsenales nucleares, c) Estados no poseedores de armas nucleares pero con desarrollo tecnológico, y d) Estados carentes de toda posibilidad de obtener armas nucleares. Pero esta propuesta no fue viable.

Hemos visto, en primer término, que "los Estados poseedores de armas nucleares" son, en función de los criterios establecidos por el Tratado, Estados Unidos, la ex Unión Soviética, Reino Unido, Francia y China y, en segundo lugar, que no puede haber nuevos Estados que adquieran esa condición. De la consideración de ambas cuestiones emanan dos reflexiones esenciales: en primera instancia, nos preguntamos qué pasaría si la Unión Europea decidiera constituir un Estado Federal que detentara autoridad sobre todo el terreno. En caso de que ello ocurriera, una consecuencia inmediata sería que países no poseedores de armas nucleares pasarían a formar parte de un original "Estado poseedor" por el simple hecho de la anexión.

En cuanto a la segunda reflexión, la misma se refiere a la consideración de un caso contrario al anterior, también en función de lo establecido por el Tratado en relación a la conformación del conjunto de los "Estados poseedores de armas nucleares" y a la imposibilidad de que al mismo se incorporen nuevos miembros. Situándonos en la coyuntura internacional en la que fue escrito el TNP, resulta interesante analizar aquí la situación problemática planteada por la disolución de la URSS. Ucrania, ex miembro de la Unión Soviética y país en nuestros días independiente, ha sido, debido a su ubicación, un gran depositario de proyectos nucleares de variado alcance. Ahora bien, ¿qué sucedió cuando se separó de la URSS? ¿Mereció la categoría de "Estado poseedor de armas nucleares"? ¿Hubiesen merecido esta misma categoría Lituania, Letonia y Estonia? En caso de atribuirles dicho status, ¿hubiese este hecho ido en contra del espíritu original del TNP de acotar el número de "Estados poseedores" en cinco miembros? Y, por otra parte, ¿se hubiese debido ampliar entonces el Consejo de Seguridad de la ONU?

Pese a que muchas podrían haber sido las repuestas posibles, lo cierto es que, en los hechos, fue tan sólo Rusia quien mantuvo el control sobre los arsenales nucleares, estipulándose el traslado de los mismos hacia su territorio en un plazo perentorio. Sin embargo, no menos cierto es que, en el mismo momento de la separación, Ucrania podría haber solicitado el status soberano de Estado poseedor y mantener asimismo el control sobre el material nuclear que hubiere en dentro de su territorio.

Respecto al compromiso asumido de no traspasar armamentos, éste constituye una obligación específica, jurídicamente vinculante, cuyo cumplimiento no puede ser eludido. No obstante, su valor efectivo aparece al menos como dudoso, teniendo en cuenta que los Estados dueños de armas nucleares ya habían resuelto previamente por su cuenta no transferir sus armas y ayuda a otros Estados, y no tenían tampoco el menor interés de hacerlo. Por tanto, ¿cuál es entonces su importancia práctica real en comparación con las obligaciones asumidas por los Estados no nucleares?

Por otra parte, la utilización de la palabra "traspasar" admite diversas salvedades. Según el diccionario de la Real Academia Española, su significado es "pasar o llenar una cosa de un sitio a otro". Mas el TNP no prohíbe el emplazamiento de armas nucleares en territorios de terceros países, sino que prohíbe concederles a tales Estados el derecho de "propiedad" sobre las mismas. En este sentido, la impropiedad del término "traspasar" se manifiesta, por ejemplo, en el caso de los países miembros de la OTAN en los cuales se emplazan armas nucleares cuya posesión es norteamericana.

Ahora bien ¿qué es un arma nuclear? Paradójicamente, no se brinda en todo el Tratado una definición de este concepto esencial sobre el cual éste norma, manteniendo de ese modo un llamativo silencio respecto a lo que no debe proliferar que arroja, a su vez, un manto de oscuridad sobre la labor de identificación de las tecnologías englobadas en el campo del armamento nuclear. Pues, ¿sería adecuado decir que un submarino nuclear es un arma nuclear? La respuesta es inequívocamente negativa ya que, pese a que el TNP no se refiere explícitamente a ello, fuentes norteamericanas nos proveen en cierto modo una jurisprudencia que indica que "los elementos que puedan utilizarse para el transporte o la propulsión de los artefactos explosivos no quedan comprendidos en la definición de arma nuclear siempre y cuando el vehículo sea separable del artefacto y no parte indivisible del mismo".

Por otra parte, la inclusión en el Artículo I de la categoría "otros dispositivos nucleares explosivos" alude de un modo indirecto y soslayado a las explosiones pacíficas, la cuales se ven expresamente prohibidas por el TNP bajo el argumento de que sólo la delgada línea de la "intencionalidad" separa un dispositivo "pacífico" de uno "beligerante". Es un hecho incuestionable que todo artefacto nuclear explosivo puede ser utilizado como arma nuclear. La tecnología es idéntica y la estructura física del artefacto, muy similar; mientras que la única diferencia relevante que podríamos hallar es instaurada en función de cómo y dónde es empleada la carga. No obstante ello, esta prohibición aparecía como inadmisible para países como Argentina, Brasil y la India, los cuales, en reiteradas ocasiones, sugirieron que no renunciarían a su derecho a fabricar o recibir explosivos nucleares que les permitan ejecutar grandes obras de ingeniería en materia de, por ejemplo, comunicaciones de cuencas hidrográficas, construcción de canales y puertos, y modificación de las características geográficas donde ello sea necesario, proyectos todos indispensables con miras a alcanzar el desarrollo económico de una nación. Tal es la importancia para cualquier Estado de acceder a la posibilidad de

contar con dispositivos nucleares utilizados para fines pacíficos que India llegó incluso a sugerir que se permitiera su fabricación y que el artefacto estuviese controlado y reglamentado antes, durante y después de dicha etapa, sin tener que renunciar luego a su posesión. Mas las múltiples objeciones realizadas no lograron torcer la postura hegemónica, de modo que finalmente el TNP prohibió toda clase de explosiones nucleares, sin establecer discriminación alguna según las finalidades esgrimidas.

Siguiendo la letra del Tratado analizado, una potencia poseedora no puede traspasar sus armas u otros dispositivos nucleares explosivos a otro país también dueño de tales elementos. Sin embargo, en la práctica, éste sienta las bases para que los Estados poseedores diseñen estrategias que les permitan sortear dicha prohibición. En la misma línea, la trasferencia de armas nucleares a las Naciones Unidas se encuentra igualmente prohibida. Por tal motivo, si esta organismo supranacional estableciera una Fuerza de Mantenimiento de Paz o si se constituyeran las Fuerzas Armadas previstas en los Artículos 42 a 47 de la Carta, de acuerdo con el TNP, las mismas no podrían ser dotadas de armas nucleares, ni siquiera en el hipotético caso de que Estados dueños de armas nucleares contribuyeran con dichas Fuerzas.

Además de vetar la posibilidad traspasar armas y otros dispositivos nucleares explosivos, es decir, la propiedad de los mismos, el Artículo I prohíbe el traspaso del control sobre ellos. Pero, a diferencia de lo analizado respecto a la transferencia, donde ambos involucrados eran países poseedores, el uso del término “control” se encuentra vinculado al emplazamiento de armas nucleares en territorios de países aliados que carecieran de ellas. No obstante dicha diferencia, nos hallamos nuevamente frente a la necesidad de reflexionar acerca de si el hecho del traspaso, prohibido aunque en cierto modo factible en vista de las salvedades y estrategias mencionadas, no se traduce en definitiva en un proceso de proliferación y, por otra parte, de considerar también en qué medida los Estados en cuyos territorios se ubicaran las armas nucleares adquirirían “el control" sobre ellas.

Lo anterior pone de manifiesto otra de las notables omisiones identificadas en el cuerpo del TNP, a saber, que éste no contempla la cuestión del despliegue de armas nucleares en el espacio geográfico de terceros países, dando así lugar a la presunción de que ello no se encuentra prohibido. Esta conjetura parece verse confirmada, en la práctica, por la ausencia de un cuestionamiento acerca de la potencial existencia de armas nucleares en los territorios de aliados militares tanto de EE.UU. como de la ex URSS. En consecuencia, considerando este punto, pareciera indudable que el Tratado resulta sumamente insatisfactorio como instrumento para obtener la no proliferación.

Por otra parte, cabe añadir que en aquellos tiempos regía el requisito conocido como “doble llave”, por el cual todo disparo efectuado por un Estado poseedor dentro del territorio de otro Estado que fuera depositario de sus armas nucleares debía ser previamente autorizado por ambas partes. Es en virtud de la vigencia de esta condición, que los Estados receptores gozaban del ejercicio de cierta

facultad de control e, incluso, de la posibilidad de acudir al derecho a veto sobre la actividad desarrollada por los Estados poseedores dentro de su territorio.

En tercer lugar, en el artículo aquí analizado se prohíbe explícitamente toda ayuda destinada a la adquisición de artefactos nucleares, mas no se incorpora especificación alguna acerca de los tipos de asistencia que recaen bajo el ámbito de aplicación del citado artículo. Esta carencia de pautas claras y explícitas respecto a qué acciones adquieren el carácter de "ayuda" se torna más relevante aún al considerar que prácticamente cualquier clase de asistencia en materia nuclear podría ser potencialmente útil para el desarrollo de dispositivos nucleares. Todo ello nos lleva a reflexionar acerca de la concesión de un poder extra a los Estados dueños pues éstos, en virtud de su status privilegiado y hegemónico, terminan siendo quienes determinan si la asistencia que prestan en cada caso particular viola o no lo establecido por el TNP, comportamiento ad hoc que genera, a su vez, un clima de incertidumbre en el cual no es posible prever futuras acciones, decisiones e, incluso, sanciones.

Dicho esto, nos detendremos ahora a profundizar la indagación acerca de la prohibición de "manufacturar o adquirir". A primera vista, pareciera evidente que lo que se prohíbe es la producción real y concreta de un arma o dispositivo nuclear explosivo. Sin embargo, ahondando en la cuestión y considerando que la manufacturación consiste en un proceso de elaboración que involucra la consecución de una serie de etapas cuyo resultado final es un producto terminado, listo para su distribución y consumo, la posibilidad de realizar tal afirmación se torna más incierta. Pues al no explicitar qué se entiende por "manufacturar", se da lugar a la emergencia de diversas estrategias tendientes a esquivar las limitaciones establecidas por el TNP, las cuales se fundan en que la indeterminación de este asunto clave permite especular con el límite hasta el cual sería posible avanzar en dicho proceso, es decir, en cuál de los escalones habría poner el freno para sortear los condicionamientos, sin por ello violar lo establecido por el Tratado.

En conclusión, al no desarrollar conceptos y/o ideas fundamentales en lo atinente al cumplimiento del objetivo manifiesto del Tratado, se favorece la conformación de un amplio margen de interpretación en el marco del cual todas las alternativas parecen posibles, en especial, si tales lecturas son expresadas por Estados con políticas sumamente restrictivas en la materia.

Por último, en relación a la expresión "ningún Estado poseedor de armas nucleares", cabe formular dos observaciones. La primera, como hemos ya señalado, alude a que un Estado poseedor de armas nucleares goza de la licencia para ayudar a otro Estado del mismo status, mas tiene prohibido brindar asistencia a un país no poseedor. Por lo tanto, en la medida en que no todos los Estados dueños de armas nucleares han alcanzado el mismo grado de adelanto respecto al desarrollo y la producción de armas, es ciertamente factible que el más avanzado preste colaboración a un aliado poseedor que se halle en una fase anterior de desarrollo. En segundo lugar, es de notar que mientras el Artículo I se refiere exclusivamente a los compromisos contraídos por los países dueños, no veda en cambio la

posibilidad de que éstos disfruten de la asistencia que podría serles otorgada por Estados no poseedores de armas nucleares, la cual podría sencillamente materializarse, por ejemplo, mediante la venta de uranio destinado a un programa de armas nucleares. Lo expuesto nos lleva a concluir que la eficacia en el cumplimiento del objetivo mentado, a saber, la no proliferación de armamento nuclear, resulta al menos deficiente ya que, en vista de lo hasta aquí analizado, no parece disponer de los medios pertinentes para alcanzar el propósito esgrimido.

2.3. Artículo II

"Cada Estado no poseedor de armas nucleares que sea parte en el Tratado se compromete a no recibir de nadie ningún traspaso de armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos ni el control sobre tales armas o dispositivos explosivos, sea directa o indirectamente, a no fabricar o adquirir de otra manera armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos, y a no recabar ni recibir ayuda alguna para la fabricación de armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos".

El presente artículo regla las obligaciones contraídas por los países no poseedores de armas nucleares, expresando de un modo ciertamente evidente las profundas asimetrías que, tal como surge del análisis comparado de estos dos primeros artículos del TNP, existen entre los derechos y obligaciones atribuidos a los respectivos tipos de Estados. En este sentido, mientras los países nucleares se comprometen a no darles artefactos ni brindarles ayuda, los no nucleares asumen la obligación de no solicitarles ni recibir dicha asistencia y, más importante aún, se comprometen a no hacer por sí mismos lo que está vedado.

Los severos condicionamientos impuestos por este segundo artículo despertaron en lo inmediato la profunda disconformidad de países como India, Brasil y Argentina, los cuales se refirieron a los efectos negativos y restrictivos del desarrollo nacional que la anuencia de semejantes prohibiciones arrojaría sobre sus respectivos países. En textuales palabras, el gobierno brasilero de la época señaló: "Esto que parece es pedir muy poco, es en realidad pedir muchísimo. Al privarse de una tecnología determinada, los países no nucleares renunciarían de hecho también a un gran número de nuevos adelantos científicos que tienen una indudable aplicación práctica en varios campos industriales y que podrían fomentar actividades económicas importantes. Renunciar al uso pacífico de la tecnología nuclear significa reducir radicalmente las posibilidades de progreso en muchas de las esferas conexas y equivaldría a aceptar para el futuro inmediato y para siempre una condición inmodificable de inferioridad y dependencia que con nada se puede compensar... Ningún país tiene derecho a decidir de repente que ha de permanecer como subdesarrollado". Tales afirmaciones fueron ratificadas por el representante de la India, quien manifestó: "sólo las naciones pobres y en vías de desarrollo deben rehusarse de los conocimientos técnicos por temor de que los utilicen con fines militares".

Las mencionadas críticas resultan así inteligibles al observar que el núcleo del Artículo II gira en torno a disponer la renuncia, en el acto y para siempre, por parte de los Estados carentes de armas nucleares a la posibilidad de poseer en un futuro armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos: se les prohíbe tanto recibirlos como aceptar el traspaso de su control, no pueden ni deben recabar u obtener ayuda para emplear tecnología sensitiva; y aquí nuevamente el problema: ¿qué es tecnología sensitiva?

En torno a ello se despierta una vez más el reñido debate pues, en su articulado, el Tratado no parece contemplar un asunto de significativa relevancia; a saber, que gran parte de la tecnología necesaria para la fabricación de un dispositivo nuclear explosivo es útil también para las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear. Tal es el caso, por ejemplo, de la electricidad, objeto parte del presente estudio de Maestría y recurso esencial cuya escasez se agudiza conforme aumenta la población mundial, siendo ésta una problemática que podría aminorarse fomentando el desarrollo y empleo de la energía nucleoeléctrica.

Por otra parte, en relación a la reiteración de la inclusión del término “fabricar”, es interesante citar la interpretación que realizara el Director de la División de Desarme de las Naciones Unidas, William Epstein, por ese entonces. Dice respecto del Artículo II: “No prohíbe la investigación ni el desarrollo de cualquier naturaleza en el campo nuclear. Desde el momento en que ni un arma nuclear ni un dispositivo nuclear explosivo son definidos en el Tratado, se puede sostener que un dispositivo nuclear no es un arma nuclear o un explosivo nuclear hasta que ha sido completamente montado, es decir, hasta que el último tornillo ha sido enroscado. También se puede sostener que un dispositivo no puede ser considerado un arma nuclear o un dispositivo nuclear explosivo hasta que ha sido ensayado con éxito, de acuerdo con la teoría de que un dispositivo que no funciona, no puede ser ni un arma ni un dispositivo explosivo. Por consiguiente, es posible para un Estado no nuclear Parte en el Tratado llevar a cabo todos los preparativos para la fabricación de un arma nuclear, incluso la investigación, el desarrollo y la fabricación del material nuclear y contenedores, justo hasta la última etapa”.

Como podemos ver, tal interpretación se vincula, a su vez, con uno de los puntos desarrollados en el marco del análisis del primer artículo. Nos referimos a lo antedicho acerca del profundo vacío que deja la sintaxis del Tratado al no definir los conceptos de “arma nuclear” y “dispositivo nuclear explosivo”, y a las consecuencias que dicha omisión acarrea.

2.4. Artículo III

“1. Cada Estado no poseedor de armas nucleares que sea Parte en el Tratado se compromete a aceptar las salvaguardias estipuladas en un acuerdo que ha de negociarse y concertarse con el Organismo Internacional de Energía Atómica y el sistema de salvaguardias del Organismo, a efectos únicamente de verificar el cumplimiento de las obligaciones asumidas por ese Estado en virtud de

este Tratado con miras a impedir que la energía nuclear se desvíe de usos pacíficos hacia armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos. Los procedimientos de salvaguardias exigidos por el presente artículo se aplicarán a los materiales básicos y a los materiales fisionables especiales, tanto si se producen, tratan o utilizan en cualquier planta nuclear principal como si se encuentran fuera de cualquier instalación de ese tipo. Las salvaguardias exigidas por el presente artículo se aplicaran a todos los materiales básicos o materiales fisionables especiales en todas las actividades nucleares con fines pacíficos realizadas en el territorio de dicho Estado, bajo su jurisdicción, o efectuadas bajo su control en cualquier lugar.

2. Cada Estado Parte en el Tratado se compromete a no proporcionar: a) materiales básicos o materiales fisionables especiales, ni b) equipo o materiales especialmente concebidos o preparados para el tratamiento, utilización o producción de materiales fisionables especiales, a ningún Estado no poseedor de armas nucleares, para fines pacíficos, a menos que esos materiales básicos o materiales fisionables especiales sean sometidos a las salvaguardias exigidas por el presente artículo.

3. Las salvaguardias exigidas por el presente artículo se aplicarán de modo que se cumplan las disposiciones del Artículo IV de este Tratado y que no obstaculicen el desarrollo económico o tecnológico de las Partes o la cooperación internacional en la esfera de las actividades nucleares con fines pacíficos incluido el intercambio internacional de materiales y equipo nuclear para el tratamiento, utilización o producción de materiales nucleares con fines pacíficos, de conformidad con las disposiciones del presente artículo y con el principio de la salvaguardia enunciado en el preámbulo del Tratado.

4. Los Estados no poseedores de armas nucleares que sean Parte en el Tratado, individualmente o junto con otros Estados, de conformidad con el Estatuto del Organismo Internacional de Energía Atómica, concertarán acuerdos con el O.I.E.A. a fin de satisfacer las exigencias del presente artículo. La negociación de esos acuerdos comenzará dentro de los ciento ochenta días siguientes a la entrada en vigor inicial del Tratado. Para los Estados que depositen sus instrumentos de ratificación o de adhesión después de ese plazo de ciento ochenta días la negociación de esos acuerdos comenzará a más tardar en la fecha de dicho depósito. Tales acuerdos deberán entrar en vigor, a más tardar, en el término de dieciocho meses a contar de la fecha de iniciación de las negociaciones".

De este extenso artículo, el último en ser incluido en el Tratado, se desprende que ninguna actividad realizada por un Estado no nuclear en el campo de la utilización pacífica de la energía nuclear escapa al control internacional, control que se ejerce sobre las actividades llevadas a cabo al momento de suscribir el acuerdo de salvaguardias y que asimismo se proyecta sobre aquellas que puedan desarrollarse en el futuro. Se configura así un control supranacional que atraviesa el tiempo y las fronteras, bajo cuya lupa se encuentran toda clase de materiales nucleares tanto como la industria nuclear pacífica -presente y futura- de un Estado, con miras a garantizar que su finalidad no se

desviase hacia la producción de armas nucleares o de dispositivos nucleares explosivos. Sin embargo, el TNP obliga a asumir ese magno compromiso únicamente a los países no poseedores Partes en el Tratado, mientras que, en contraste, los países nucleares gozan, como dijimos, de una situación de privilegio a la cual se agrega ahora el no serles exigidas inspecciones dentro de su territorio soberano. De este modo, en línea con los artículos previamente examinados, lo expuesto pone de manifiesto que el Artículo III se sitúa en la misma senda de acentuación de unas asimetrías cuyo estudio resulta, cuanto menos, interesante.

Las salvaguardias se aplican, entonces, a la totalidad de los materiales utilizados en la actividad nuclear con fines pacíficos. No obstante, esta barrera puede ser eludida al decidir un Estado no colocar bajo salvaguardias ciertos materiales básicos o fisionables de que dispone, argumentando que los mismos no están destinados a usos pacíficos, sino a fines militares no proscriptos: propulsión de submarinos y naves de superficie de su flota de guerra, generación de energía eléctrica en satélites militares o de energía en bases militares aisladas, etc. Incluso, los Estados tienen el derecho de sustraer material ya colocado bajo salvaguardias para utilizarlo con propósitos militares. En conclusión, paradójicamente, el TNP otorga legitimidad a la utilización de la energía nuclear con fines militares, siempre y cuando ello no implique la fabricación de explosivos nucleares.

Ahora bien, ¿quiénes son los inspectores del O.I.E.A.? ¿Bajo qué procedimiento son elegidos? La información acerca de los nombres, antecedentes profesionales y nacionalidades de los inspectores es comunicada con antelación al país a ser inspeccionado. No obstante, el problema no se circunscribe aquí al mero hecho del control en sí y de la selección de aquellos en quiénes se delega la responsabilidad de materializarlo, sino que se extiende al ámbito de la preservación de los secretos industriales y de la competencia comercial. Pues más allá de que puedan entablarse estrechas relaciones, incluso de amistad, entre los Estados a ser controlados y aquellos de los cuales son oriundos los inspectores involucrados, ello no suprime la posibilidad de que exista entre ellos una competencia en el campo del desarrollo de tecnológico-industrial. Respecto a este punto se ha dicho: “es también casi completamente imposible mantener un secreto importante dentro de una organización cuyo personal incluye ciudadanos de más de setenta Estados, la mayor parte de los cuales tiene un contrato a plazo fijo y regresará a su servicio nacional. Por esta causa es muy poco probable que cualquier gobierno o central nuclear confiara ninguna información industrial o comercial verdaderamente valiosa al OIEA”.

Resulta curioso que el Tratado no estipule un régimen concreto de sanciones que contemple diversas clases y grados de incumplimiento. Debe igualmente reconocerse que, en todos los casos posibles, las medidas adoptadas por la Junta de Gobernadores o por los órganos de Naciones Unidas tendrán,

además de un importante peso político, repercusiones sobre el plano económico de diversa magnitud según el peso político país cuestionado[7].

2.5. Artículo IV

"1. Nada de lo dispuesto en este Tratado se interpretará en el sentido de afectar el derecho inalienable de todas las Partes en el Tratado de desarrollar la investigación, la producción y la utilización de la energía nuclear con fines pacíficos, sin discriminación y de conformidad con los Artículos I y II de este Tratado.

2. Todas las Partes en el Tratado se comprometen a facilitar el más amplio intercambio posible de equipos, materiales e información científica y tecnológica para los usos pacíficos de la energía nuclear y tienen el derecho de participar en ese intercambio. Las Partes en el Tratado que estén en situación de hacerlo deberán asimismo cooperar para contribuir, por sí solas o junto con otros Estados u organizaciones internacionales, al mayor desarrollo de las aplicaciones de la energía nuclear con fines pacíficos, especialmente en los territorios de los Estados no poseedores de armas nucleares Partes en el Tratado, teniendo debidamente en cuenta las necesidades de las regiones en desarrollo del mundo".

Todo análisis del precitado artículo debe tener presente que el mismo se encuentra en línea con el Artículo II del Estatuto del Organismo Internacional de Energía Atómica, en el cual se expresa que el principal objetivo del Organismo consiste en "acelerar y aumentar la contribución de la energía atómica a la paz, la salud y la prosperidad en el mundo entero", finalidad que en modo alguno se asemeja al propósito de asegurar el cumplimiento de la salvaguardia mencionada con anterioridad.

El Artículo IV representa, en su esencia, una declaración de buenas intenciones cuya ejecución depende, en última instancia, de la voluntad de los Estados poseedores de tecnología nuclear avanzada, ya que no se dispone de mecanismo alguno para controlar el cumplimiento de los compromisos contraídos ni, mucho menos, para compelerlos a cumplir. Ni un sólo reactor para energía eléctrica o desalinización fue dado o vendido a ningún país como consecuencia directa del Artículo IV que no hubiera sido vendido sin necesidad de dicho artículo. Sumado a ello, los Estados Unidos incluso se han embarcado en un programa de restricciones antes que de cooperación, impidiendo que los Estados no nucleares adujeran conocimientos que pudieran servir para fines no lícitos, aunque éstos fueran al mismo tiempo imprescindibles para el aprovechamiento autónomo de la energía nuclear.

A principios de 1975 se creó el Club de Londres, que sería integrado por miembros de países con posibilidades de exportación de tecnología nuclear: Bélgica, Canadá, Estados Unidos, Francia, Italia,

[7] Ver sanciones económicas y fundamentalmente financieras impuestas por EE.UU. a Irán; a fin de que limite su programa de desarrollo nuclear.

Japón, Holanda, Polonia, Reino Unido, Suecia, Suiza y las antiguas Checoslovaquia, Alemania Federal, Alemania Democrática y la URSS. El propósito de la congregación fue, a instancias de Estados Unidos, incrementar la severidad de las condiciones para el comercio nuclear y procurar que la competencia en las exportaciones no debilitara las salvaguardias.

Hacia 1982, la concesión de un status especial a Japón por parte de la administración Reagan confirmó el supuesto de que la cooperación regulada por el Artículo IV no incluía a todos los firmantes en pie de igualdad. El nuevo status del país nipón se fundaba en el permiso que obtuvo para realizar el reprocesamiento de los combustibles quemados, tecnología sensitiva pues permite extraer plutonio de los elementos irradiados, lo cual era de suma importancia debido a su necesidad energética. Este episodio ratifica entonces que la referida cooperación se circunscribía a las interacciones que tuvieran lugar entre un selecto grupo de Estados, en tanto que el resto quedaba al margen de los beneficios de tal labor conjunta.

El Club de Londres es hoy el NSG (Nuclear Suppliers Group) y posee 48 Estados miembro. Como vimos, Argentina forma parte de él, y lo ha presidido entre 2014-2016.

2.6. Artículo V

"Cada Parte en el Tratado se compromete a adoptar las medidas apropiadas para asegurar que, de conformidad con este Tratado, bajo observación internacional apropiada y por los procedimientos internacionales apropiados, los beneficios potenciales de toda aplicación pacífica de las explosiones nucleares sean asequibles sobre las bases no discriminatorias a los Estados no poseedores de armas nucleares Partes en el Tratado y que el costo para dichas Partes de los dispositivos explosivos que se empleen sea lo más bajo posible y excluya todo gasto por concepto de investigación y desarrollo. Los Estados no poseedores de armas nucleares Partes en el Tratado deberán estar en posición de obtener tales beneficios en virtud de uno o más acuerdos internacionales especiales, por conducto de un organismo internacional apropiado en el que estén adecuadamente representados los Estados no poseedores de armas nucleares. Las negociaciones sobre esta cuestión deberán comenzar lo antes posible, una vez que el Tratado haya entrado en vigor. Los Estados no poseedores de armas nucleares Partes en el Tratado que así lo deseen podrán asimismo obtener tales beneficios en virtud de acuerdos bilaterales".

La inclusión de este artículo en el cuerpo del TNP opera a modo de "compensación" para los Estados no poseedores de armas nucleares, en consideración del renunciamiento a adquirir o desarrollar dispositivos nucleares explosivos, aunque no fueran armas nucleares, que efectúan en ocasión del Artículo II.

Resulta pertinente en este punto brindar un panorama acerca de cuáles serían las posibles aplicaciones pacíficas de la energía nuclear. Los estudios realizados hasta el milenio pasado

revelaban que podríamos gozar de los beneficios derivados de la utilización de la energía nuclear en las áreas de estimulación de gas y de petróleo, almacenamiento de hidrocarburos, lixiviación de minerales de cobre, extracción de calor geotérmico, construcción de canales, creación de embalses, construcción de puertos, apertura de trincheras para carreteras y vías férreas, eliminación de peligros para la navegación, etc. Sin embargo, así como mencionamos sus valiosos beneficios, debemos señalar también que las dificultades técnicas, económicas y políticas que ofrecen estas explosiones son considerablemente altas, a lo que se suman las críticas formuladas por la opinión pública, que expresa su preocupación por el control de las radiaciones, representando uno de los mayores obstáculos al desarrollo de tales tecnologías.

Al día de hoy no se han efectuado aplicaciones prácticas de explosivos nucleares y los Estados poseedores no expresan intención alguna de ir en esa dirección.

2.7. Artículo VI

"Cada Parte en el Tratado se compromete a celebrar negociaciones de buena fe sobre medidas eficaces relativas a la cesación de la carrera de armamentos nucleares en fecha cercana y al desarme nuclear, y sobre un Tratado de desarme general y completo bajo estricto y eficaz control internacional".

Las Naciones Unidas siempre han abogado por la instauración del Tratado en tanto peldaño basal hacia la consecución del desarme general y, en especial, del desarme nuclear. Lejos de ello, el Artículo VI demuestra el escaso alcance de las obligaciones conferidas a los Estados poseedores de armas nucleares, cuyo reducido compromiso se limita a "celebrar negociaciones de buena fe sobre medidas eficaces". Además de cuestionar las reducidas obligaciones que atañen a los países dueños, lo anterior nos invita a preguntarnos cuál es el sentido de explicitar que las negociaciones celebradas serán "de buena fe" y que las medidas adoptadas serán "eficaces", ¿no es ese un supuesto universal de las negociaciones internacionales? ¿En qué contexto se acordaría impulsar la implementación medidas ineficaces?

Lo cierto es que este artículo, el de mayor trascendencia para la humanidad en su conjunto, no es más que una mera declaración de buenos deseos; mientras que, lamentablemente, subsisten arsenales cuya enorme capacidad de destrucción permite asegurar no sólo la disuasión del oponente sino, también, la devastación del planeta. Pese a que la culminación de la Guerra Fría devino en la configuración de un nuevo orden internacional muy distinto al que vivenciáramos durante los años de aquel mundo bipolar, no es posible realizar similar afirmación acerca del orden nuclear, ya que hasta el momento no hemos sido testigos de la emergencia de un nuevo régimen, cuyas reglas y propósitos podrían diferenciarse ampliamente de los que hoy conocemos.

2.8. Artículo VII

"Ninguna disposición de este Tratado menoscabará el derecho de cualquier grupo de Estados a concertar Tratados regionales a fin de asegurar la ausencia total de armas nucleares en sus respectivos territorios".

No es el propósito del presente trabajo hacer énfasis en este artículo que, sin dudas, despierta polémicas por doquier. Nos interesa simplemente mencionar que en América Latina se ha suscripto un Tratado que bien puede ser asociado al derecho por él garantizado, acuerdo que fue abierto a la firma el 14 de Febrero de 1967 en Tlatelolco, ciudad que le ha dado nombre.

Es preciso destacar que el Tratado de Tlatelolco es un convenio distinto, separado, independiente y previo al Tratado de No Proliferación y que si bien podría decirse que sus respectivos objetivos son en cierta forma similares, la manera en que los plasman es notoriamente diferente. El Tratado de Tlatelolco -es necesario recalcarlo con el mayor de los énfasis- no constituye en modo alguno una versión regional del TNP.

Será a continuación que nos detengamos a analizar en profundidad las disposiciones del Tratado de Tlatelolco y a realizar un estudio comparativo entre el mismo y el TNP. Entre tanto, en esta oportunidad mencionaremos algunas de las importantes diferencias a tener en cuenta: a) Tlatelolco prohíbe la presencia y el emplazamiento de armas nucleares en el territorio de sus miembros, mientras que el TNP lo permite siempre que tales armas se encuentren bajo el control de las potencias nucleares, lo cual representa una curiosa manera de buscar la no proliferación; b) el régimen de control y verificación es diferente en uno y otro instrumento; c) más allá del cuestionamiento que pudiera realizarse acerca de su verdadero alcance, los Estados Partes en Tlatelolco reciben una garantía de seguridad de parte de las potencias nucleares a través del Protocolo II, lo que no sucede a instancias del TNP; d) el Tratado de Tlatelolco permite expresamente las explosiones nucleares pacíficas -pese a que algunas interpretaciones tiendan a negar ese derecho-, mientras que el TNP las prohíbe sin más; e) Tlatelolco instituye una organización permanente, OPANAL, encargada de vigilar el cumplimiento del Tratado, lo cual no ocurre en el caso del TNP.

Pese a tales contrastes, que nos permiten distinguir notoriamente a uno del otro, el TNP se ha propuesto absorber a Tlatelolco. Cabe suponer que ello se deba a que el fin perseguido sea en definitiva que los acuerdos regionales no se aparten de las premisas por él articuladas y a que, en última instancia, las potencias nucleares quieran que sea el TNP el único instrumento legal aplicable a la proscripción de armas nucleares que detente un carácter legítimo ante la comunidad internacional.

2.9. Artículo VIII

"1. Cualquiera de las Partes en el Tratado podrá proponer enmiendas al mismo. El texto de cualquier enmienda propuesta será comunicado a los Gobiernos depositarios que lo transmitirán a todas las Partes en el Tratado. Seguidamente, si así lo solicitan un tercio o más de las Partes en el Tratado, los Gobiernos depositarios convocarán a una conferencia, a la que invitarán a todas las Partes en el Tratado para considerar tal enmienda.

2. Toda enmienda a este Tratado deberá ser aprobada por una mayoría de los votos de todas las Partes en el Tratado, incluidos los votos de todos los Estados poseedores de armas nucleares Partes en el Tratado y de las demás Partes que, en la fecha en que se comunique la enmienda, sean miembros de la Junta de Gobernadores del Organismo Internacional de Energía Atómica. La enmienda entrará en vigencia para cada Parte que deposite su instrumento de ratificación de la enmienda al quedar depositados tales instrumentos de ratificación de una mayoría de las Partes, incluidos los instrumentos de ratificación de todos los Estados poseedores de armas nucleares Partes en el Tratado y de las demás Partes que, en la fecha en que se comunique la enmienda, sean miembros de la Junta de Gobernadores del Organismo Internacional de Energía Atómica. Ulteriormente, entrará en vigor para cualquier otra Parte al quedar depositado su instrumento de ratificación de la enmienda.

3. Cinco años después de la entrada en vigor del presente Tratado se celebrará en Ginebra, Suiza, una conferencia de las Partes en el Tratado, a fin de examinar el funcionamiento de este Tratado para asegurarse que se están cumpliendo los fines del preámbulo y las disposiciones del Tratado. En lo sucesivo, a intervalo de cinco años, una mayoría de las Partes en el Tratado podrá, mediante la presentación de una propuesta al respecto a los Gobiernos depositarios, conseguir que se convoquen otras conferencias con el mismo objeto de examinar el funcionamiento del Tratado".

Una de las primeras cuestiones a destacar es que de este octavo artículo se desprenden dos claros procesos: el primero de ellos se vincula con la ejecución de una revisión periódica del funcionamiento del Tratado, mientras que el segundo se refiere a la incorporación de enmiendas a su texto.

Las Conferencias de Examen del Tratado nacieron a raíz de la creciente insatisfacción manifestada por numerosos países respecto al sistema de derechos y obligaciones consagrado por el TNP, y fueron concebidas como un medio para superar las reservas y dudas que dichos países habían expuesto. De este modo, luego de cinco años de vigencia, se ofreció por primera vez la posibilidad de analizar el Tratado, aunque sin haber establecido de modo explícito y con antelación qué era lo que las Conferencias de Examen podían o debían hacer concretamente llegado el caso de que el saldo de tal análisis fuera negativo. No obstante, es evidente que el propósito de dichas Conferencias no es realizar enmiendas, puesto que para ello el Tratado establece, de hecho, otro procedimiento, al cual nos referimos como segundo de los procesos derivados del artículo en cuestión. En este contexto, la actuación de las Conferencias se reduce a operar como un mero foro de debate acerca de diversos aspectos del Tratado que, a la larga, por valiosas que pudieran ser sus aportaciones, no redundará en

transformación alguna de la operatoria vigente. Esta imposibilidad de dotar al debate de consecuencias prácticas reales explica el alto grado de ausentismo, falta de acuerdos, falta de documentos finales, detectados en las sucesivas Conferencias, confirmando así la inoperancia de las mismas.

En relación a las enmiendas al Tratado, se establece que éstas deberán ser discutidas y eventualmente aprobadas en una conferencia especialmente convocada a tal efecto "por una mayoría de votos de todas las Partes en el Tratado". Este requisito implica que debe ser aprobada por: a) todos los Estados poseedores de armas nucleares; y, b) todos los Estados Partes que sean miembros de la Junta de Gobernadores del Organismo Internacional de Energía Atómica en la fecha en que se comunique la enmienda.

No podemos dejar de mencionar que a la fecha no se ha logrado aún efectuar ninguna enmienda, lo cual en gran medida se debe a que cualquiera sea la subsanación en cuestión, para ser sancionada, ésta debe obtener la aprobación de todos los Estados poseedores de armas nucleares, mientras que los Estados Partes no poseedores no cuentan con una injerencia real en tales decisiones. En suma, lo normado acerca de la posibilidad de realizar enmiendas deviene letra muerta producto tanto de los obstáculos establecidos por el propio Tratado como de los intereses subyacentes en la praxis política internacional.

2.10. Artículos IX, X y XI

Los artículos en cuestión incorporan formulismos propios de los tratados. El Artículo IX alude a la firma, ratificación, adhesión, entrada en vigencia y registro; el Artículo XI, por su parte, se refiere a la traducción idiomática del texto; y el Artículo X, por último, se divide en dos apartados de los cuales el primero deja asentado el procedimiento a seguir en caso de que un miembro decida retirarse del Tratado, mientras que el segundo expresa:

"Veinticinco años después de la entrada en vigor del Tratado se convocará a una conferencia para decidir si el Tratado permanecerá en vigor indefinidamente o si se prorrogara por uno o más períodos suplementarios de duración determinada. Esta decisión será adoptada por la mayoría de las Partes del Tratado".

En línea con lo regulado por dicho segundo apartado del Artículo X, durante los meses de Abril y Mayo de 1995, tuvo lugar en Nueva York una importante conferencia con motivo de resolver si el TNP sería renovado indefinidamente o por períodos sucesivos. La intensa y continuada presión ejercida en ese entonces por EE.UU., país que denotaba serios intereses en que se optara por la primera alternativa, logró alcanzar su cometido, imponiéndose la vía de la renovación por tiempo indeterminado. Cabe señalar que si bien es de público conocimiento que la apelación al uso de coacciones de diversa índole es un fenómeno corriente en el marco de las reuniones y negociaciones

internacionales, todo indica que, en esta oportunidad, la presión ejercida por dicho Estado alcanzó una desproporcionada magnitud.

De este modo, a pesar de que la mayor parte de la comunidad internacional pugnaba por la prolongación por períodos prestablecidos, la potencia absolutamente hegemónica hacia 1995 puso en práctica todas las herramientas de que disponía a fin de hacer prevalecer su intención por sobre las preferencias de dicha mayoría de los Estados Parte.

A modo de síntesis, mencionaremos algunas de las cuestiones a destacar en relación a lo sucedido en torno a la conferencia de 1995. En primer lugar, debemos tener presente que la campaña norteamericana había sido iniciada ya hacia 1990, cinco años antes de que la conferencia tuviera lugar. Esto se debió, en gran medida, a que la defensa del referido interés fue asumida como una cuestión de Estado del más alto nivel, por lo que el Secretario de Estado, el Vicepresidente y el propio Presidente de la Nación intervinieron de forma directa en la misma, ordenando instruir a los diversos embajadores estadounidenses a fin de que ejercieran su influencia en favor de la posición de la nación en los distintos puntos del mapa en que tales diplomáticos se hallaban. Por último, cabe añadir que dicha presión sobre los Estados Parte en pos de los intereses norteamericanos fue ejercida, en no pocos casos, a través de instrumentos de coerción económica.

2.11. Conclusiones

Habiendo examinado cada uno de los articulados que componen el Tratado de No Proliferación, resumiremos en el presente apartado las principales críticas enunciadas, las cuales se encuentran en estrecha relación con las omisiones que a partir de dicho análisis se han puesto de manifiesto. En suma, se ha objetado que el Tratado:

a. No garantiza la no proliferación de armas nucleares en sí, sino que simplemente tiende a detener su propagación hacia los Estados que no las poseen, mientras que, en contraste con ello, no impone restricción alguna a la continuación de la fabricación, almacenamiento y sofisticación de armas nucleares por parte de las potencias nucleares existentes.

b. No constituye un paso hacia el desarme nuclear.

c. No prohíbe la prestación de colaboración por parte de un Estado poseedor a otro Estado también dueño de armas nucleares, al tiene permitido brindarle asistencia técnica.

d. Establece una distribución asimétrica de las obligaciones y responsabilidades entre los Estados poseedores de armas nucleares y aquellos que carecen de ellas, acentuando incluso las desigualdades prexistentes. Pues la mayor parte de las obligaciones normadas por el TNP son impuestas a los países no nucleares, en tanto las potencias nucleares, por su parte, asumen tan sólo unos pocos compromisos.

e. Es discriminatorio en lo que a los beneficios derivados de las explosiones nucleares pacíficas se refiere, así como también con respecto a las salvaguardias y controles que instituye, ya que todo el peso de ellos recae sobre los países no nucleares, mientras que las potencias nucleares permanecen libres de tales imposiciones.

Luego de la lectura pormenorizada del articulado, surge entonces la pregunta acerca de si acaso el Tratado expresa y reproduce una suerte de "sujeción nuclear", interrogante que podría ser objeto de reflexión de una futura tesis a emprender.

3. TRATADO DE TLATELOLCO

La Cancillería argentina ha concedido igual tratamiento al Tratado de Tlatelolco[8] que a su predecesor, el Tratado de No Proliferación, y ha participado además tanto en el proceso de su elaboración y como en la firma. De este modo, a pesar de que la ratificación no se produjo sino hasta la presidencia del Dr. Menem, la Cancillería ha evidenciado su identificación con el espíritu y objetivo de este acuerdo que, si bien a muy grandes rasgos podemos decir que adquiere elementos del TNP, circunscribe su ámbito de aplicación a la órbita latinoamericana. Respecto a los argumentos esgrimidos en relación al Tratado de Tlatelolco, éstos han sido en gran medida similares a los empleados en el tema TNP.

A continuación nos referiremos sintéticamente a aquellos artículos que consideramos resultan más interesantes de examinar y discutir, en tanto contribuyen a nutrir el análisis emprendido en el presente trabajo.

3.1. Artículo 1: Obligaciones

"1. Las Partes Contratantes se comprometen a utilizar exclusivamente con fines pacíficos el material y las instalaciones nucleares sometidos a su jurisdicción, y a prohibir e impedir en sus respectivos territorios:

a. El ensayo, uso, fabricación, producción o adquisición, por cualquier medio, de toda arma nuclear, por sí mismas, directa o indirectamente, por mandato de terceros o en cualquier otra forma, y

[8] Ha sido ratificado por los 33 Estados de la región de las Américas: Antigua y Barbuda, Argentina, Bahamas, Barbados, Belice, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Dominica, Ecuador, El Salvador, Granada, Guatemala, Guyana, Haití, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, República Dominicana, San Cristóbal y Nieves, Santa Lucía, San Vicente y las Granadinas, Surinam, Trinidad y Tobago, Uruguay y Venezuela. El Tratado de Tlatelolco contiene dos Protocolos Adicionales. El Protocolo I está destinado a los Estados extraterritoriales que *de jure* o *de facto* tengan territorios bajo su responsabilidad en la Zona de Aplicación del Tratado. Ha sido firmado y ratificado por los Estados Unidos, Francia, Países Bajos y el Reino Unido. Por su parte, el Protocolo Adicional II está dirigido a los Estados poseedores de armas nucleares. Ha sido firmado y ratificado por China, los Estados Unidos, Francia, el Reino Unido y Rusia.

b. El recibo, almacenamiento, instalación, emplazamiento o cualquier forma de posesión de toda arma nuclear, directa o indirectamente, por sí mismas, por mandato de terceros o de cualquier otro modo.

2. Las Partes Contratantes se comprometen, asimismo, a abstenerse de realizar, fomentar o autorizar, directa o indirectamente, el ensayo, el uso, la fabricación, la producción, la posesión o el dominio de toda arma nuclear o de participar en ello de cualquier manera".

3.2. Artículo 13: Salvaguardias del OIEA

"Cada Parte Contratante negociará acuerdos -multilaterales o bilaterales- con el Organismo Internacional de Energía Atómica para la aplicación de las Salvaguardias de éste a sus actividades nucleares. Cada Parte Contratante deberá iniciar las negociaciones dentro de un término de ciento ochenta días después de la fecha del depósito de su respectivo instrumento de ratificación del presente Tratado. Estos acuerdos deberán entrar en vigor, para cada una de las Partes, a más tardar dieciocho meses a contar de la fecha de iniciación de dichas negociaciones, salvo caso fortuito o fuerza mayor".

3.3. Artículo 16: Inspecciones Especiales

"1. El Organismo Internacional de Energía Atómica tiene la facultad de efectuar inspecciones especiales, de conformidad con el Artículo 12 y con los acuerdos a que se refiere el Artículo 13 de este Tratado.

2. A requerimiento de cualquiera de las Partes y siguiendo los procedimientos establecidos en el Artículo 15 del presente Tratado, el Consejo podrá enviar a consideración del Organismo Internacional de Energía Atómica una solicitud para que ponga en marcha los mecanismos necesarios para efectuar una inspección especial.

3. El Secretario General solicitará al Director General del OIEA que le transmita oportunamente las informaciones que envíe para conocimiento de la Junta de Gobernadores del OIEA con relación a la conclusión de dicha inspección especial. El Secretario General dará pronto conocimiento de dichas informaciones al Consejo.

4. El Consejo, por conducto del Secretario General, transmitirá dichas informaciones a todas las Partes Contratantes".

3.4. Protocolo Adicional I

"Comprometerse a aplicar en los territorios que de jure o de facto estén bajo su responsabilidad internacional, comprendidos dentro de los límites de la Zona geográfica establecida en el Tratado

para la Proscripción de las Armas Nucleares en la América Latina y el Caribe, el estatuto de desnuclearización para fines bélicos que se haya definido en los Artículos 1, 3, 5 y 13 de dicho Tratado".

3.5. Protocolo Adicional II

A continuación, citaremos los tres primeros artículos del Protocolo Adicional II, cuya examinación consideramos adquiere relevancia en el marco del presente análisis. Por el contrario, no incluiremos en esta oportunidad a los demás artículos que lo componen ya que, o bien son de forma, o bien no han generado controversias[9].

3.5.1. Artículo 1

"El estatuto de desnuclearización para fines bélicos de la América Latina y el Caribe, tal como está definido, delimitado y enunciado en las disposiciones del Tratado para la Proscripción de las Armas Nucleares en la América Latina y el Caribe, del cual este instrumento es Anexo, será plenamente respetado por las Partes en el presente Protocolo en todos sus objetivos y disposiciones expresas".

3.5.2. Artículo 2

"Los Gobiernos representados por los Plenipotenciarios infrascritos se comprometen, por consiguiente, a no contribuir en forma alguna a que, en los territorios a los que se aplique el Tratado de conformidad con el Artículo 4, sean practicados actos que entrañen una violación de las obligaciones enunciadas en el Artículo 1 del Tratado".

3.5.3. Artículo 3

"Los Gobiernos representados por los Plenipotenciarios infrascritos se comprometen, además, a no emplear armas nucleares y a no amenazar con su empleo contra las Partes Contratantes del Tratado para la Proscripción de las Armas Nucleares en la América Latina y el Caribe".

Tlatelolco es el primer Tratado[10] mediante el cual prácticamente todos los Estados pertenecientes a una amplia región deciden no poseer armas nucleares, a la vez que reclaman la proscripción de cualquier forma de posesión de tales armas dentro de la zona delimitada, compromiso que se mantiene vigente hasta nuestros días.

[9] Para una descripción detallada ver Anexo.

[10] Tlatelolco fue el germen para el establecimiento de otras cuatro ZLAN: Pacífico Sur (Tratado de Rarotonga, 1985); Sudeste Asiático (Tratado de Bangkok, 1995); África (Tratado de Pelindaba, 1996); Asia Central (Tratado de Asia Central, 2006) y el territorio de Mongolia, que en el 2000 obtuvo el reconocimiento internacional como Estado libre de armas nucleares (Resolución 55/335 S de la Asamblea General de las Naciones Unidas).

Hacia la década del ’70 y, en particular, tras la Crisis de los Misiles Cubanos, la posibilidad de que se emplazaran armas nucleares en nuestra región representó una seria amenaza que erosionaba la confianza que pudiera existir entre los diversos Estados y, con ello, la posibilidad de establecer acuerdos internacionales. A ello se sumaba la existencia de múltiples rivalidades interestatales y las detonaciones de explosivos llevadas a cabo por nuevos Estados, tales como Francia y China. Este panorama comenzaría a revertirse en el transcurso de las dos décadas siguientes, período durante el cual, a la par que se vivenciaba el restablecimiento de las democracias latinoamericanas y de las libertades fundamentales en la región, se fue consolidando un orden político dotado de la capacidad de trabajar en aras de promover la confianza mutua.

La amplia aceptación que gozara desde un principio Tlatelolco se debió a que un significativo número de Estados no presentaba línea de conflicto alguna con el articulado propuesto, puesto que sus actividades nucleares eran nulas o incipientes, a la vez que subsistían relaciones de dependencia con potencias hegemónicas. Muy distinta era la situación en la cual se encontraban Argentina y Brasil, lo que explica que en su caso la aprobación no haya sido igualmente inmediata.

Las trabas que durante décadas han obstaculizado el aval de la Cancillería argentina han sido:

a. La ausencia de un sistema de protección del secreto industrial en razón de las funciones de control que ejerza un organismo símil al OIEA, especialmente en lo que se refiere a las inspecciones especiales realizadas por petición de cualquier Estado Parte. Este ítem cobra especial relevancia para la Argentina a raíz de los adelantos tecnológicos que ha logrado desarrollar sin asistencias externas, a los cuales nos hemos referido en el Capítulo II. En tal sentido, adherir al Tratado de Tlatelolco implica exponerse a correr serios riesgos, ya que no cuenta con un sistema de confidencialidad de la información, circunstancia que, por otra parte, implicaría una grave amenaza de proliferación.
b. La falta de credibilidad en el cumplimiento por parte de las potencias nucleares de las obligaciones emergentes de los Protocolos Adicionales, desconfianza fundada en la inexistencia de un sistema de verificación de la efectiva observancia de los compromisos contraídos.
c. La presencia de armas nucleares británicas en el Atlántico Sur, no desmentida de manera categórica, verosímil y fiable por el Reino Unido. Este episodio revela la carencia de instrumentos de control y evaluación esenciales para garantizar el cumplimiento del Tratado. Pues en caso de que un Estado poseedor de armas nucleares, obligado a respetar la zona desnuclearizada, decidiera introducir armas nucleares en ella e, invocando razones de seguridad nacional, se negara a confirmar o a desmentir tal accionar aún ante requerimientos legítimos de otros Estados Partes, no se dispondría de medio alguno para verificar el cumplimiento de los compromisos adquiridos en los Protocolos Adicionales.
d. La incompatibilidad entre la posición Argentina respecto del transporte de armas nucleares en la zona militar desnuclearizada y las declaraciones de reservas propias de los países poseedores que posibilitan dicho transporte.

e. Las declaraciones interpretativas que los Estados poseedores de armas nucleares han expresado acerca de los Protocolos Adicionales I y II, las cuales constituyen verdaderas reservas e incluso modifican la letra del Tratado. A modo de ejemplo podemos citar las declaraciones unilaterales realizadas por las potencias en relación a la no utilización de armas nucleares contra Estados no poseedores, cuyo significado real y práctico, al no estar los países dueños sujetos a condicionamientos, es el no ofrecimiento de garantía[11].

Los territorios situados dentro del ámbito de aplicación del Tratado bajo responsabilidad de jure o de facto de los Estados poseedores de armas nucleares se encuentran exentos de los controles que el OPANAL aplica a los Estados Parte, permaneciendo sujetos únicamente a la aplicación de salvaguardias en virtud de lo regulado en el Artículo 13, las cuales comprenden exclusivamente las actividades nucleares pacíficas. Por tanto, quedan libres de todo control las instalaciones militares pertenecientes a los Estados poseedores de armas nucleares que se hallen dentro de la zona delimitada por el Tratado, así como también sus navíos y aeronaves de guerra, impidiendo en consecuencia la verificación de la ausencia o presencia de armas nucleares en dicha área. De hecho, se han suscripto acuerdos entre estos Estados y el OIEA en los cuales se admite la posibilidad de la presencia de armas nucleares en los territorios ubicados dentro de la zona en cuestión.

3.6 Zonas Libres de Armas Nucleares (ZLAN)

Otras cinco ZLAN derivaron de Tlatelolco. Abarca más del 50% de la superficie de la Tierra.

1. **Tratado de Rarotonga**: establece una ZLAN en el Pacífico Sur. Fue abierto a firma en Rarotonga (Islas Cook), el 6 de agosto de 1985 y entró en vigor el 11 de diciembre de 1986. Tiene 16 Estados Partes: Australia, Islas Cook, Fiji, Kiribati, la República de las Islas Marshall, Estados Federados de Micronesia, Nauru, Nueva Zelandia, Niue, Palau, Papua Nueva Guinea, Islas Salomón, Tonga, Tuvalú, Vanuatú y Samoa Occidental. Contiene tres Protocolos que han sido firmados y ratificados por los Estados poseedores de armas nucleares, con excepción de los Estados Unidos que no ha ratificado.
2. **Tratado de Bangkok**: establece la ZLAN del Sudeste Asiático. Fue abierto a firma el 15 de diciembre de 1995 por los 10 Estados Miembros de la Asociación de Naciones del Sudeste Asiático (ASEAN) y entró en vigor el 27 de marzo de 1997. Cuenta con la ratificación de todos los Estados de la Zona: Brunei Darussalam, Camboya, Indonesia, Laos, Malasia, Myanmar, Filipinas, Singapur, Tailandia y Vietnam. Hasta la fecha, ningún Estado poseedor de armas nucleares ha firmado el Protocolo de este Tratado.

[11] Las declaraciones interpretativas condicionales se distinguen de las declaraciones interpretativas «simples» por su efecto potencial sobre la entrada en vigor del tratado. La particularidad de estas declaraciones interpretativas condicionales reside en efecto en el hecho de que su autor condiciona su consentimiento en obligarse por el tratado a la interpretación propuesta. Si esta condición no se cumple, y si los demás Estados y organizaciones internacionales partes en el tratado no consienten en esta interpretación, el autor de la declaración interpretativa considera que no está obligado por el tratado, por lo menos con respecto a las partes en el tratado que la contestan. La declaración formulada por Francia en oportunidad de la firma del Protocolo Adicional II del Tratado para la Proscripción de las Armas Nucleares en la América Latina y el Caribe da un ejemplo especialmente claro. En caso en que la declaración interpretativa formulada por el Gobierno de Francia sea impugnada en todo o en parte por una o más Partes Contratantes en el Tratado o en el Protocolo II, esos instrumentos carecerán de efecto en las relaciones entre la República Francesa y el Estado o Estados que los impugnen.

3. **Tratado de Pelindaba**: crea la ZLAN del continente africano. Fue abierto a firma el 12 de abril de 1996 en el Cairo, Egipto. El Tratado de Pelindaba ha sido firmado por 51 Estados: Argelia, Angola, Benin, Botswana, Burkina Faso, Burundi, Camerún, Cabo Verde, República Centroafricana, Chad, Comoros, Congo, Costa de Marfil, Djibouti, Egipto, Eritrea, Etiopía, Gabón, Gambia, Ghana, Guinea, Guinea-Bissau, Kenia, Lesotho, Liberia, Libia, Malawi, Mali, Mauritania, Mauricio, Marruecos, Mozambique, Namibia, Níger, Nigeria, República Democrática del Congo, Rwanda, Santo Tomé y Príncipe, Senegal, Seychelles, Sierra Leona, Somalia, Sudáfrica, Sudán, Swazilandia, Tanzania, Togo, Túnez, Uganda, Zambia y Zimbawe. Sin embargo, 15 Estados no han ratificado. El Tratado cuenta con tres Protocolos Adicionales. Los cinco Estados poseedores de armas nucleares han firmado los Protocolos I y II; los Estados Unidos no han ratificado ninguno. Francia ratificó el Protocolo III y España no lo ha firmado.
4. **Tratado de Asia Central**: se firmó el 8 de septiembre de 2006 y entró en vigor el 21 de marzo de 2009. Este tratado fue ratificado por los cinco estados de la región, todos pertenecientes a la extinta Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas: Kazajstán, Kirguistán, Tajikistán, Turkmenistán y Uzbequistán. Es la primera ZLAN que se establece en el hemisferio norte del planeta. En mayo de 2015, los cinco Estados poseedores de armas nucleares firmaron simultáneamente el Protocolo de este Tratado.
5. **Estado Libre de Armas Nucleares de Mongolia**: el continuo esfuerzo de Mongolia y los trabajos realizados durante las diferentes sesiones de la Comisión de Desarme de las Naciones Unidas dió como fruto la Resolución 53/77 D, adoptada en la 53a Sesión de la Asamblea General el 4 de diciembre de 1998, en donde se acoge con beneplácito la decisión de Mongolia de declarar su territorio como libre de armas nucleares.

4. RÉGIMEN ARGENTINO – BRASILEÑO DE CONTABILIDAD Y CONTROL

A raíz del restablecimiento de los regímenes políticos democráticos en ambos países del Cono Sur, los nuevos gobiernos comenzaron a impulsar y promover un proceso de construcción de confianza mutua que sería inédito en la región. Dejando atrás las competencias por la hegemonía regional, las disputas sobre las cuencas de los ríos y el conflicto por las represas, se inició una nueva etapa en la que primaba la búsqueda de líneas de acuerdo que permitieran afrontar en conjunto la presión internacional, particularmente, la presión ejercida por los EE.UU. para imponer su posición en lo referido al TNP y a Tlatelolco. En este contexto, ante la reiterada exigencia de efectuar un control internacional sobre nuestras actividades e instalaciones, se decidió responder a tal reclamación configurando un control mutuo, que constituiría el fundamento de la creación de la Agencia Brasileño Argentina de Contabilidad y Control (ABACC).

El acuerdo sobre política nuclear entre Argentina y Brasil se materializaría finalmente el 28 de Noviembre de 1990 en Foz de Iguazú, notificando entonces a la comunidad internacional la voluntad conjunta de hacer uso pacífico de la energía nuclear, garantizando asimismo la eliminación de posibles aplicaciones bélicas en el continente, todo lo cual anticipaba el comienzo de una nueva etapa en las relaciones bilaterales entre ambos países. Como antecedentes de este convenio podemos nombrar la Declaración de Fox de Iguazú de 1985 (Alfonsín - Sarney), la de Brasilia de 1986, la de Viedma en 1987, la de Ipero[12] en 1988 y la de Ezeiza en ese mismo año. Mediante estas

[12] Funciona en Ipero la planta de enriquecimiento de uranio de Brasil.

Declaraciones previas, cuyo común denominador era la voluntad de promover el desarrollo nuclear con fines pacíficos, se fueron estrechando, desarrollando e incrementando los lazos de cooperación y de control mutuo, sentando así sólidas bases para la futura institución del Tratado de Iguazú, que materializaría la instrumentación de dicha voluntad.

Las cláusulas acordadas en aquel Noviembre de 1990 fueron: 1) Aprobar el Sistema Común de Contabilidad y Control que será aplicado a todas las actividades nucleares de ambos países. 2) Intercambiar listas en las cuales se detallen todas las instalaciones nucleares. 3) Intercambiar los inventarios iniciales de los materiales nucleares existentes en cada uno de los países. 4) Realizar las primeras inspecciones recíprocas a los sistemas de registros. 5) Presentar al OIEA el sistema de registros e informes que forma parte del Sistema Común de Contabilidad y Control. 6) Negociar con el OIEA un acuerdo conjunto de salvaguardias que tenga como base el Sistema Común de Contabilidad y Control. 7) Adoptar, una vez concluido el acuerdo anterior, las iniciativas conducentes a posibilitar la entrada en vigencia del Tratado de Tlatelolco, incluyendo las actualizaciones y el perfeccionamiento de su texto.

Tomando como base los mencionados acuerdos y declaraciones, en el año 1991 se firmó en Guadalajara, México, el primer Tratado vinculante, jurídicamente exigible, mediante el cual ambos países ratifican el uso exclusivamente pacífico de la energía nuclear.

Puesto que dicho Tratado resulta de suma relevancia, en lo sucesivo señalaremos los puntos fundamentales del mismo, contenidos en los primeros cuatro artículos que componen su texto. Luego, siguen artículos de forma y aquellos específicamente referidos a la creación de la ABACC, sus facultades y órganos, a la confidencialidad de la información, al funcionamiento de las comisiones y de la secretaría, a la sede y al financiamiento, etc.[13]

4.1 Artículo I

"1. Las Partes se comprometen a utilizar exclusivamente con fines pacíficos el material y las instalaciones nucleares sometidos a su jurisdicción y control.

2. Las Partes se comprometen, en consecuencia, a prohibir e impedir en sus respectivos territorios, y a abstenerse de realizar, fomentar o autorizar, directa o indirectamente, o de participar de cualquier manera:

a. en el ensayo, uso, fabricación, producción o adquisición, por cualquier medio, de toda arma nuclear, y
b. en el recibo, almacenamiento, instalación, emplazamiento o cualquier otra forma de posesión de cualquier arma nuclear.

[13] Texto completo en anexos.

3. Teniendo en cuenta que no existe, actualmente, distinción técnica posible entre dispositivos nucleares explosivos para fines pacíficos y los destinados a fines bélicos, las Partes se comprometen, además, a prohibir e impedir en sus respectivos territorios, y a abstenerse de realizar, fomentar o autorizar, directa o indirectamente, o a participar de cualquier manera, en el ensayo, uso, fabricación, producción o adquisición por cualquier medio de cualquier dispositivo nuclear explosivo, mientras persista la referida limitación técnica".

4.2 Artículo II

"Nada de lo dispuesto en el presente acuerdo afectará el derecho inalienable de las Partes de desarrollar la investigación, la producción y la utilización de la energía nuclear con fines pacíficos, preservando cada Parte sus secretos industriales, tecnológicos y comerciales, sin discriminación y de conformidad con sus Artículos I, III, y IV".

4.3 Artículo III

"Nada de lo dispuesto en el presente acuerdo limitará el derecho de las Partes a usar la energía nuclear para la propulsión u operación de cualquier tipo de vehículo, incluyendo submarinos[14], ya que ambas son aplicaciones pacíficas de la energía nuclear".

4.4 Artículo IV

"Las Partes se comprometen a someter todos los materiales nucleares en todas las actividades nucleares que se realicen en sus territorios, o que estén sometidas a su jurisdicción o bajo su control en cualquier lugar, al Sistema Común de Contabilidad y Control (SCCC) establecido en el Artículo V del presente acuerdo".

En 1991, en el marco de los compromisos contraídos los años previos, se firmó en Viena un Acuerdo Cuatripartito entre Argentina, Brasil, ABACC y el OIEA, luego ratificado por ley en ambos países, en virtud del cual los referidos organismos adquieren la facultad de aplicar salvaguardias totales sobre las instalaciones y materiales existentes en ambos países.

En el contexto regional, en Septiembre del mismo año, Argentina, Brasil y Chile suscribieron el Compromiso de Mendoza. Mediante esta Declaración Conjunta sobre la Prohibición de las Armas Químicas y Biológicas, los firmantes se comprometen a no producir, almacenar ni usar armas químicas y bacteriológicas, y a ser signatarios de la Convención sobre la Prohibición del Desarrollo, la

[14] Brasil tiene hoy en carpeta un proyecto de submarino nuclear con tecnología francesa. Argentina, lo tuvo en la década de 1980; con modificaciones al actual CAREM para entrar en ocho metros de diámetro, disponibles en sala de máquinas de los submarinos TR1700 (ídem San Juan) que se estaban construyendo en el ex Astillero Domecq García.

Producción, el Almacenamiento y el Empleo de Armas Químicas y sobre su Destrucción, que se negociaría en Francia, en 1993. En la práctica, el actor principal en este Compromiso era Chile ya que, pese a haber rechazado siempre este país la acusación, subsistía la sospecha de que fabricaba armas químicas en forma clandestina.

Argentina ha adherido también al Régimen de No Proliferación Misilística y Desarrollo Espacial, tras discontinuar el Proyecto Cóndor II, en 1991. A raíz de ello, ha implementado un programa de cooperación con la NASA, que tiempo después derivó en el lanzamiento de los satélites argentinos Proyectos: SAC (A, B, C y D), Nahuel (I) y ARSAT (I y II).

5. ¿EL DERECHO INTERNACIONAL, ES SELECTIVO?

¿Acaso también es selectiva su aplicación? Al menos ello parece indicar el accionar de EE.UU., Rusia, la UE, la OTAN e incluso quizás de Asia, actores que lo citan cuando los beneficia y lo ignoran cuando lo consideran un obstáculo al logro de sus objetivos. En el transcurso de los últimos años, los EE.UU. y sus aliados han lanzado una serie de intervenciones militares en contravención con la Carta de Naciones Unidas y sin contar con el apoyo del Consejo de Seguridad, como tampoco lo tuvieron las guerras de Afganistán, Irak y Libia. De igual modo, cuando en 1999 la OTAN bombardeó Serbia siguiendo la directiva de EE.UU. lo hizo fuera del marco jurídico internacional y a pesar de Rusia. Luego, la independencia de Kosovo, reconocida por EE.UU. y la UE, sentaría un precedente para la futura actuación de Rusia en Crimea. A esta serie de hechos que violan el derecho internacional se le podría añadir un gran número de operaciones llevadas a cabo por EE.UU. sobre las cuales Washington se ha negado a rendir cuentas ante la comunidad internacional, desoyendo así los pedidos realizados tanto por otros países como por organismos de la ONU.

En este sentido, no es en modo alguno una novedad que haya quienes sean escépticos respecto a la efectividad del derecho internacional y a los beneficios que del mismo podrían derivarse. Hay quienes creen que nunca podrá prevalecer sobre los intereses nacionales de las grandes potencias y que la única vía realmente posible de conservar la paz es mantener un equilibrio de poderes entre los diversos competidores. Mas aquellos que han defendido esta posición no han sido en cambio capaces de afirmar con seguridad si es en definitiva factible establecer un auténtico equilibrio de poderes a escala internacional, así como tampoco han propuesto estrategias políticas viables que permitan alcanzarlo.

Para entender la firma del TNP por parte de Argentina y Brasil hay que situarse en la época y en el análisis costo-beneficio de mantener o abandonar una posición. En este sentido, en el marco de las conclusiones enunciadas en el Apartado 2.11., hemos señalado los vacíos que han sido objeto de críticas al TNP. En resumidas palabras, se ha dicho que: a) no garantiza la no proliferación de armas

nucleares; b) no constituye un paso hacia el desarme nuclear; c) no prohíbe la ayuda entre Estados nucleares; d) no establece un equilibrio de obligaciones y responsabilidades entre los Estados nucleares y los no nucleares; y, e) es discriminatorio en lo que a los beneficios derivados de las explosiones nucleares pacíficas se refiere, así como también desde el punto de vista de las salvaguardias y controles que son impuestos a los países no nucleares.

Tales críticas pueden ser clasificadas en dos grandes categorías. La primera de ellas reúne aquellas críticas de índole ideológica, cuyas objeciones apuntan a la esencia misma del Tratado y al status privilegiado que le concede a los cinco Estados nucleares. Con relación a esta categoría, en la que se sitúan los primeros cuatro ítems de nuestras conclusiones, debemos decir que la discusión fue cerrada en el marco de una política de alineamiento con el hegemón mundial, de establecimiento de "relaciones carnales" con EE.UU., y a pesar de las objeciones ideológicas formuladas. Haciendo eco de los conceptos de "realismo" y "periferia" -respecto a la posición que ocupa la Argentina en el contexto mundial-, se puso fin al debate en el cual tales críticas eran legítimamente expresadas, puesto que ello obstaculizaba el anhelado éxito de dicha política de acercamiento y fortalecimiento de las buenas relaciones con los EE.UU.

Una segunda categoría engloba las críticas de índole más bien práctico, referidas al cumplimiento de las restricciones por parte de los Estados no nucleares. En este grupo se ubica el ítem e) del Apartado 2.11. que, a su vez, podemos subdividir en dos tipos de objeciones: por un lado, las críticas que apuntan a la propiedad de los beneficios de las explosiones nucleares pacíficas y, por el otro, aquellas referidas a los controles y salvaguardias impuestos a los Estados no nucleares. Con relación a este último punto debemos tener presente que las obligaciones emanadas del Acuerdo Cuatripartito de 1991 son suficientes como para que ningún deber adicional surja de la firma del TNP. Por otra parte, a instancias de tal Acuerdo, nuestro país ha aceptado salvaguardias totales para todas sus instalaciones nucleares como parte de una política de mutua confianza con Brasil. De este modo, mediante dicho acto, puso fin a la discusión sobre salvaguardias y controles, dejando sin efecto la posibilidad de realizar objeción alguna a este aspecto del TNP.

En cuanto a las explosiones nucleares pacíficas, podemos distinguir dos momentos bien diferenciados entre sí. El primero de ellos, signado por la ilusión que despertaba la posibilidad de obtener importantes beneficios derivados de dicha clase de explosiones. En este sentido, hacia 1968, cuando se ponía a la firma el Tratado, sencillamente podía percibirse a nivel mundial la expectativa que generaba la utilización de tales aplicaciones en provecho de la humanidad. Sin embargo, veintisiete años más tarde, primaba en cambio la decepción provocada por la frustración de las esperanzas previas. Pues, hacia 1995, debido a la dificultad de controlar las radiaciones emitidas por la explosión, ninguna explosión nuclear pacífica había sido efectuada en el mundo desarrollado, así como tampoco se había realizado obra de ingeniería alguna utilizando esa técnica. Más allá de las diversas teorías que puedan formularse al respecto, lo cierto es que, hasta el momento, no se ha logrado demostrar que se trate de una tecnología utilizable; hecho que sirvió de herramienta

argumentativa para nuestro país ya que, luego de haber defendido sin demasiado éxito el uso de este tipo de explosiones, pudo esgrimir como contraargumento que las mismas no contaban con aplicaciones prácticas.

5.1 Última revisión del TNP: 2015.

Frustrante. Es el adjetivo descriptivo más sensato que se puede plantear luego de conocer el debate, que los medios especializados que cubrieron la Conferencia de Revisión, publicaron.

En primer lugar fue la falta de progreso acreditable sobre los sesenta y cuatro puntos de trabajo que había dejado la Conferencia de 2010. Esto es aún más notable en los referidos específicamente a los compromisos de desarme nuclear. En segundo lugar es impensable que las partes no puedan arribar a un documento final consensuado y aceptable para los ciento ochenta y cinco Estados Partes sin armas nucleares, como así también para los cinco Estados reconocidos por el TNP como poseedores legales de dichas armas. Todo esto sigue haciendo pensar que existe una diferencia abismal entre los intereses y realidades de ambas partes. En tercer lugar, el ejercicio de la Conferencia eroga un fenomenal nivel de recursos que no se condicen con los resultados; llegando a pensar en algunas esferas diplomáticas si no es un mero ejercicio de dilapidación.

El punto clave sigue siendo la resistencia de los poseedores en hacer tangibles y verificables sus compromisos por el Art. VI. Ninguno de estos Estados quiere ni siquiera delinear un cronograma de desarme, siendo solo las reducciones numéricas las correspondientes a dispositivos obsoletos.

Para peor tampoco se logró consensuar un documento final, tal como ocurrió en la revisión de 2005. Es decir que de las tres últimas conferencias, dos no tuvieron documento final; y una (2010) si bien lo tuvo solo quedó en palabras.

El TNP no logrará su cometido sin el apoyo de los principales actores de esta historia, que son los Estados nuclearmente armados. El gasto mundial en armas nucleares, en los últimos diez años, fue de un billón de dólares americanos (u$s 1.000.000.000.000.-). Las conclusiones del capítulo quedan en el lector.

Capítulo IV

PERFIL NUCLEAR ARGENTINO

"Hablar del futuro de las ciencias en una Nación
es lo mismo que expresar qué jerarquía ocupará en el mundo civilizado".
Bernardo Houssey

"Tengo el más profundo optimismo respecto de
las posibilidades intelectuales y en el futuro de nuestro país.
Pero ese optimismo no implica que crea que ese futuro promisorio
pueda lograrse sin lucha ni esfuerzo".
José Balseiro

1. UNA NACIÓN PREPARADA

En el presente capítulo nos abocaremos al estudio de lo que consideramos constituyó el detonante de la actividad nuclear en nuestro país. Nos referimos al llamado "Proyecto Huemul", fenómeno que nos proponemos analizar a partir de la implementación del método histórico.

La elección de tal objeto de estudio se funda en la importancia que adquirió un hecho particular, en una primera instancia a través de un pequeño gesto político, que derivaría luego en el diseño de toda una política nuclear nacional. Esto no significa que pasemos por alto la relevante actividad científica previamente acumulada, desarrollada por hombres de notable intelecto y reputación, como Enrique Gaviola, José A. Balseiro y los miembros de la Asociación de Física Argentina, creada a mediados de la década del '40. Si no que, a los fines aquí propuestos, resulta prioritario hacer énfasis en el apoyo incondicional que el gobierno del Gral. Juan D. Perón le otorgara a un científico austríaco, de apellido Richter, el cual, a nuestro entender, ha funcionado como una levadura que permitió fermentar la masa crítica que, tiempo después, se traduciría en el amplísimo Plan Nuclear Argentino, único en Latinoamérica.

Esta es la historia de un fraude, historia protagonizada por un "científico" que escapaba de la Europa de Posguerra y que llegó a generar gran entusiasmo en el Gral. Perón con su proyecto de obtener energía limpia y barata a través de la utilización del método de fusión nuclear, al igual que

la obtienen el sol y las estrellas. Una energía, vale decir, que aún hoy el hombre no ha logrado aprovechar en forma controlada, aunque sí se ha valido de ella en forma violenta mediante la aterradora explosión de la bomba de hidrógeno.

Eric Hobsbawm nos dice que es posible predecir la historia, que podemos hacer prospectiva. Mas lo interesante aquí es emprender una retrospectiva a fin de inferir si la Argentina hubiese alcanzado al grado de desarrollo nuclear actual de no haber sucumbido al Proyecto Huemul. Si bien nuestra respuesta a tal interrogante es negativa, nos proponemos en lo sucesivo brindarle al lector elementos de juicio que esperamos le sean de utilidad para la formulación de su opinión personal.

Tal vez haya algo de verdad en la afirmación que realizara Ronald Richter, al decir que “si Perón no hubiese tenido la audacia y la voluntad creadora que lo caracteriza, la Argentina no tendría energía atómica”. Es probable, sí, especialmente en vistas de la particular combinación entre una nación que se encuentra gobernada por personas sujetas a sus propias ambiciones e ideologías y los reiterados desencuentros de la clase dirigente argentina, que bien podrían haber terminado por estancar al país en este campo, tal como ciertamente ocurrió en otros Estados producto de la falta de un proyecto de país que estuviese signado por una visión a largo plazo.

El trabajo desarrollado a continuación está basado en las investigaciones realizadas por el Dr. Mario Mariscotti, Doctor en Física de la Universidad de Buenos Aires y merecedor, en 1983, del Premio KONEX. Por otra parte, ha sido enriquecido con anécdotas y comentarios personales, así como también con un documento fotográfico inédito que obtuve en ocasión de la visita que realicé a la Isla Huemul, en febrero de 1995.

1.1. Bariloche

Fue durante la primavera de 1947 que a la Argentina llegó la noticia de que Kurt Tank y un grupo de técnicos aeronáuticos alemanes, ex empleados de la Focke-Wulf, planeaban escapar hacia algún país de Sudamérica, en posesión del diseño del último modelo del avión Messerschmidt. Este escenario fue interpretado por fuentes argentinas como una excelente oportunidad para impulsar el desarrollo de la incipiente actividad aeronáutica nacional.

Entre los integrantes del mencionado grupo se encontraba el mayor César Ojeda, persona muy emprendedora que por aquel entonces ejercía formalmente la Subsecretaría del Ministerio de Guerra -aunque, en la práctica, poseía un poder mucho más extenso- y que pronto simpatizaría con el Gral. Perón. Desde la perspectiva de este último, era imperioso comenzar a trabajar arduamente en el desarrollo de la aviación nacional que, en su estado de extremo atraso, no podía aspirar a constituir más que una mera dependencia del ejército. En este contexto, el proyecto que Ojeda le presentara, el cual había sido firmado por el presidente Ramírez en febrero de 1944 -y que se cree fue lo último que firmó antes de su alejamiento de la Presidencia de la Nación-,

recibiría, claro está, un amplio respaldo por parte de Perón, deseoso de dotar a la Argentina de una fuerza aérea de elevada categoría. Y así fue que, 48 horas más tarde, Ojeda, profesor de la Escuela de Guerra, comenzaría a trabajar con Perón.

Entre tanto, el mayor Gallardo Valdez se encontraba escribiendo el borrador de un programa cuyo objeto era incorporar a la Universidad de Buenos Aires la carrera de Meteorología, materia sobre la cual había realizado su especialización. Una vez que tomó forma, ya en 1945, presentó -sin éxito- el correspondiente proyecto de ley; mas producto de su manifiesto desacuerdo con los principios del G.O.U., el mismo fue demorado por sus superiores. Luego de ello, se le ofreció una agregaduría en Moscú, donde se desarrollaban trabajos que guardaban similitud con los estudios meteorológicos de su interés.

Habiendo finalmente aceptado la propuesta, a mediados del año 1947, Gallardo Valdez llegó a Suecia, escala cuya duración se extendería varias semanas más de lo programado y que, para sorpresa suya, se transformaría en el destino final de su viaje. Pues mediante un telegrama se procedió a informarle que había sido designado delegado aeronáutico en tal país, siendo que, como miembro de la fuerza militar, sólo tenía dos alternativas: aceptar las órdenes o pedir su retiro. Sin embargo, la situación no se resolvería aquí. Luego de ello, lo esperaba un cambio más sorpresivo aún: días previos a Navidad le llegaría un nuevo telegrama que lo enviaba a Noruega en el marco de una misión secreta.

En aquel país nórdico lo aguardaba el cónsul argentino Muret quien, en el marco de dicha misión, le encomendó a tres hombres, todos ellos ciudadanos alemanes que, portando pasaportes falsos, debía trasladar a Buenos Aires. Gallardo Valdez no recibió con agrado la labor que se le asignara, ya que tenía serias sospechas de estar en verdad protegiendo a refugiados nazis que huían de la zona de ocupación aliada para instalarse en Argentina. Aún más, fue tal el disgusto con el cual había llevado a cabo dicha misión que, a pesar de ser aviador profesional, Gallardo Valdez tardaría 30 años en darse por enterado de que uno de los tres emigrados que trajo a Buenos Aires, Kurt Waldemar Tank, fue el principal responsable de la fabricación, en la Provincia de Córdoba, de uno de los aviones más avanzados de la época, el Pulqui II, y cuya venida al país desencadenó una espectacular aventura atómica.

Años más tarde, habiendo ya retornado al país, participó de una conspiración contra el gobierno peronista y del infructuoso Golpe de 1951. En 1955, el presidente de facto Gral. Pedro E. Aramburu lo persuadió para que asumiera la gobernación de la intervenida Provincia de Córdoba.

Respecto a los emigrados, Kurt W. Tank había conocido a Ronald Richter un año antes de escaparse juntos a la Argentina. Tank, ingeniero aeronáutico ávido de incorporar nuevas tecnologías, se sintió tentado con la idea que éste le confiara acerca de la posibilidad de impulsar aviones con energía atómica. Tal es así que, al llegar a nuestro país, aprovechando la buena predisposición del gobierno a incorporar técnicos alemanes al Instituto Aeronáutico de Córdoba,

recomendó calurosamente a Richter, gesto que daría lugar a la primera entrevista del físico con el presidente, el 24 de agosto de 1948.

Perón y Richter se entendieron desde el primer momento. Existía entre ambos cierta similitud de caracteres, actitudes y hasta de apariencia física. Richter, aplomado y muy seguro de sí mismo, le explicó detenidamente al presidente sus ideas sobre la utilización de la energía atómica y le propuso crear un "pequeñísimo sol", término con el cual se refería a la fusión nuclear controlada que utiliza hidrógeno como combustible, el elemento más abundante en la naturaleza. Le comentó también que, si bien era posible obtener energía nuclear mediante el procedimiento utilizado por los norteamericanos, ese proyecto costaría 6 millones de dólares, por lo que, agregó tentando al presidente, sería conveniente implementar su propio procedimiento, que sólo requeriría unas "chirolitas". Perón le preguntó si se animaba a asumir tal compromiso, a lo que Richter asintió. "Métale no más", contestó el presidente.

Para ambos actores la puesta en marcha de dicho proyecto representaba un desafío prometedor y de enorme atractivo. Mientras que a los ojos de Richter aparecía como una oportunidad única, ya que dispondría de aquel compromiso de fondos económicos que todo científico anhela, a Perón le proveería, según los dichos del físico, la llave de la energía atómica barata y el reconocimiento mundial. Sin dudas, ambos hombres se necesitaban mutuamente.

Richter se trasladó entonces a Córdoba para comenzar a trabajar con Tank. Allí se le asignó un laboratorio y se pusieron a su disposición todos los medios necesarios para la correcta evolución de sus investigaciones en materia atómica. El sueldo convenido fue $5.000, es decir, u$s1.250 de aquella época.

A principios de 1949, un cortocircuito produjo un incendio en su laboratorio, que equivocadamente atribuyó a un acto de sabotaje. Al llegar esta versión de los hechos a los oídos de Perón, el General se comunicó con su viejo amigo Enrique González para pedirle que tomara cartas en el asunto. El tema era que González, empleado de Migraciones, estaba preocupado por colonizar la Patagonia. González viajó entonces a Córdoba a entrevistarse con Richter, quién tercamente había decidido suspender sus actividades.

Producto de este episodio, se decidió trasladar el laboratorio a una nueva sede, que debería reunir las siguientes condiciones: abundancia de agua pura y fresca para refrigeración, ausencia de polvo y entorno ideal para preservar secretos. En busca de un sitio que reuniera tales características se sobrevoló el desierto de San Juan y la zona precordillerana cercana a Bariloche. Allí dieron con el lugar deseado: una pequeña isla situada sobre el Lago Nahuel Huapi, frente a playa Bonita, llamada Huemul, en memoria del único habitante de la isla, el cacique Huenul o Huemul, fallecido en 1902, año de la fundación de San Carlos de Bariloche.

Finalmente, el 21 de julio de 1949 llegaron las primeras topadoras a la isla. Y junto a la segunda compañía de ingenieros desembarcaron también otros trabajadores, máquinas y materiales, transformando con ello la apacible atmósfera de una isla desierta en un verdadero enjambre. Puesto que se trata de un terreno escarpado, con pocos llanos que se presten a la construcción de edificios de grandes dimensiones, se decidió emplazar la guardia de gendarmería y el laboratorio fotográfico a 300m de la playa, en tanto que de camino se edificaron el galpón y la cantina para los 300 soldados que trabajaron en la obra y, 200m más adelante, se montó el Laboratorio 2, el más famoso de todos, donde Richter llevaría a cabo sus experiencias. Vecino a éste, se construyeron la usina, el Laboratorio 4 y, por último, el edificio del reactor, la obra más monumental de la isla.

La excepcional importancia que Perón le asignaba al proyecto podía vislumbrarse con claridad en sus diversas acciones y decisiones, tal como se expresa en su implícito visto bueno respecto al hecho de que el consumo energético de la isla fuera mayor al del conjunto de la población de Bariloche, así como en la orden que les diera a Fabricaciones Militares y al Ejército de otorgar máxima prioridad a cualquier pedido que viniera del centro Huemul. Se manifiesta también en la amplia predisposición gubernamental a satisfacer las demandas de Richter, tal como se expresó aquella vez que el gobierno argentino accedió a realizar las gestiones pertinentes para atender a su pedido de contratar como asistentes a dos científicos que vendrían desde Alemania, Heinz Jaffke y Wolfang Ehrenberg, para que comenzaran a trabajar con Richter.

Soldados, albañiles, electricistas y carpinteros, una muchedumbre de 400 hombres abocada al trabajo con maquinarias pesadas, sobrellevando condiciones climáticas desfavorables, un país supeditando la disponibilidad de sus recursos a las exigencias de la isla, todo ello dibujaba un panorama por demás novelesco.

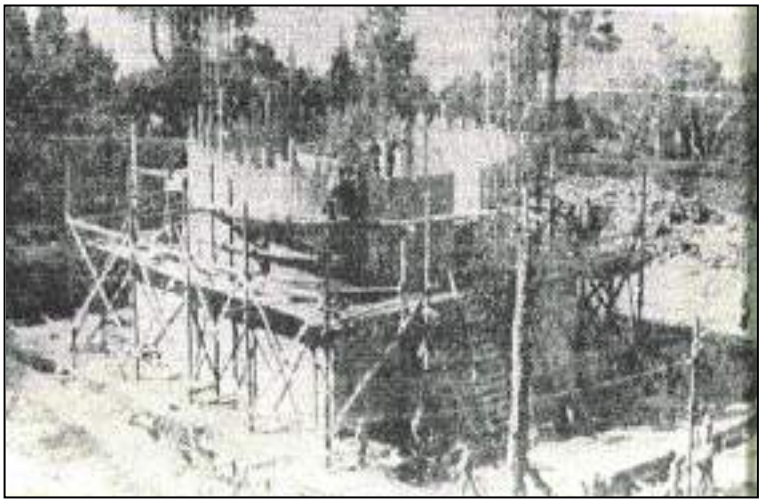


Fig. 4.1. Encofrado del reactor. Poco después esta obra fue demolida.
Fuente: Mariscotti (1985) "*El secreto atómico de Huemul*".
Bs.As. Sudamericana/Planeta.

El 8 de abril de 1950 Perón y Evita viajaron a la isla, donde Richter y su esposa oficiarían de anfitriones. Allí se encontraron con el encofrado del reactor principal: una mole de 12m de alto por 12m de diámetro sobre una platea de 20m por 20m. En el mes de mayo se hizo el hormigonado, tarea sumamente difícil y ardua debido a los cuidados que requiere la manipulación de dicho material; luego, se levantaron paredes alrededor del reactor y se construyó un techo a dos aguas. Alrededor de 60 personas trabajaron titánicamente durante 3 días, distribuidos en 3 turnos, en esta monumental obra que se desencofró en junio.

Paralelamente, el 31 de mayo de 1950 se firmó el Decreto Nº 10.936, mediante el cual se crea la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA). La sanción de esta norma ponía de manifiesto, ante la inconveniencia de seguir al amparo de la Dirección de Migraciones, que resultaba imperioso contar con un organismo oficial que prestara un marco institucional al proyecto que estaba implementándose en Huemul.

Cabe mencionar aquí otro de los episodios que ilustra el particular vínculo entablado entre el presidente y el científico. En un comienzo, Richter había solicitado construir caños radiales de hierro que, naturalmente, estaban embutidos en el cemento y apretaban hacia el eje de la cámara interior. Sin embargo, luego de ver que en otro lugar de la isla había caños de fibrocemento, fríamente y sin dar explicaciones, manifestó que consideraba indispensable sustituir los anteriores por éstos. El pronunciamiento de esta nueva exigencia dejó estupefactos a quienes los rodeaban, ya que el cambio sugerido implicaba demoler todo el cilindro construido. Los encargados de la monumental obra no podían comprender que semejante mole de cemento debiera hacerse añicos. Sin embargo, sorprendentemente, luego de tomar conocimiento del caso el Gral. Perón y de reunirse con Richter en su despacho, el presidente ordenó demoler el reactor principal que meses atrás había visitado.

Las numerosas concesiones otorgadas parecían no satisfacer al investigador, quien de todas formas aprovechaba sus viajes a Buenos Aires para visitar la Embajada de los EE.UU. a fin de obtener una visa que lo habilitara a trabajar allí. Como era de suponer, dicho accionar no agradaba al gobierno argentino, que aun así se esmeró en intentar brindarle todo lo que deseaba para continuar con el proyecto. Mas esa era una meta casi imposible de alcanzar considerando su notorio carácter megalómano, que en múltiples oportunidades lo ha llevado incluso a escribirles cartas a sus amigos de Europa en las que les prometía que algún día recibirían noticias muy importantes de él, así como a fantasear con la idea de un “proyecto súper secreto” y a clasificar sus informes como “Top Secret”. En el mismo sentido podemos mencionar también algunas particularidades del informe que escribiera, titulado “Organización del Proyecto Huemul”, respecto al cual cabe señalar que no sólo no presentaba aporte científico alguno, sino que un 70% del mismo consistía en la descripción pormenorizada de las medidas de seguridad con las que la isla -de la cual se decía jefe supremo- debería contar, fantaseando con torres de control,

ametralladoras, lanchas rápidas y batallones de desembarco que imposibilitaran la entrada de agentes secretos.

Por otra parte, no sólo Richter no permitía el ingreso de ningún otro científico a la isla, sino que, además, mantenía relaciones conflictivas con todos sus habitantes, especialmente con aquellos con los que debía establecer un contacto directo, como era el caso del Cnel. González y del Ing. Hellmann, este último encargado de suministrar los enormes bobinados eléctricos necesarios para la realización del proyecto. Así las cosas, sólo mantenía relaciones cordiales con los asistentes a los que hemos hecho referencia, Jaffke y Ehrenberg.

Cuando las pretensiones de Richter ya estaban llevando al límite la situación, llegó la inesperada noticia de que se había alcanzado el anhelado éxito. Fue en la tarde del 16 de febrero de 1951, mientras que el anuncio oficial tendría lugar el 24 de marzo de ese año. Aquel día, Jaffke se había abocado a realizar una serie de experiencias en el Laboratorio 2, consistentes en disparar un arco voltaico dentro de un cilindro que contenía litio e hidrógeno, y observar luego los resultados en un espectrógrafo. Mediante estas mediciones se esperaba observar en una especie de película fotográfica un ensanchamiento de las líneas del espectro, índice de que la temperatura del material quemado había alcanzado los valores requeridos para desencadenar reacciones de fusión nuclear; a su vez, los detectores de radiación debían acusar la presencia de las mismas. Hacia media tarde, Jaffke alcanzó las placas recién reveladas a Richter, quién saltó de entusiasmo.

Pocos días después, González se entrevistó con Perón, a quien le sugirió que la experiencia se repitiera en presencia de científicos argentinos. Si bien el mandatario estuvo de acuerdo con dicha recomendación, la repetición nunca se llevó a cabo y esto sólo dio lugar a que Richter arguyera que González se estaba entrometiendo en sus tareas. A fin de evitar nuevos conflictos, Perón invistió de poderes presidenciales a Richter, una concesión sin precedentes y absolutamente anticonstitucional.

1.2. Cerca del triunfo

Eran las diez de la mañana del sábado víspera de Pascuas. Aquel 24 de marzo la prensa aguardaba expectante; muy pocos tenían cierta información sobre el tema pero algunas historias acerca de trabajos secretos realizados en una isla del sur habían adquirido dominio público. El presidente ingresó al despacho de la Casa de Gobierno seguido de Richter y González; estaban presentes también Héctor Cámpora, presidente de la Cámara de Diputados, y Raúl Mende, Ministro de Asuntos Técnicos. El Gral. Perón realizó una breve introducción sobre los trabajos que en materia atómica se estaban realizando en Argentina y luego pronunció una desafortunada frase: “Lo que es importante es que, cuando digo una cosa, sé lo que digo, lo digo con seriedad y previamente me aseguro de la veracidad de la información que doy. Por lo menos hasta ahora

siempre he tratado de no decir la primera mentira, que creo que no la he dicho todavía y en esto tampoco quería decirla. De manera que lo que yo digo es absolutamente fehaciente y real". Y agregó: "El 16 de febrero de 1951, en la planta piloto de energía atómica, en la Isla Huemul de San Carlos de Bariloche, se llevaron a cabo reacciones termonucleares bajo condiciones de control en escala técnica". Atónitos, los periodistas permanecieron en silencio, como esperando mayores explicaciones sobre el sensacional anuncio pronunciado, pues les resultaba difícil de creer que el país se estuviera enrolando en una actividad de alto nivel tecnológico, aunque una pequeña muestra de ello había sido dada el pasado 9 de febrero, en ocasión de la presentación en la avenida Costanera del avión Pulqui II, símil del Mig 15 con el cual la Argentina se había ubicado ya como líder en la región en materia aeronáutica. Por otra parte, también las primeras locomotoras fueron fabricadas en el país.

Ese mismo día, desde Washington, con un nacionalismo efervescente, el embajador Paz declaraba: "Los asuntos argentinos se arreglan en Argentina". Entre tanto, Mc Arthur ordenaba el polémico cruce del paralelo 38° y se publicaban sus declaraciones sobre un posible bombardeo atómico a China. Por otra parte, el 15 de febrero la URSS había absorbido a Checoslovaquia y EE.UU había realizado, en menos de 96 horas, tres explosiones atómicas, mientras que dos días antes del anuncio de Perón se había procesado a Greenglas y al matrimonio Rosemberg por entregar a los soviéticos una copia de los detalles de la bomba arrojada en Nagasaki. Sin embargo, pese a la trascendencia del convulsionado contexto internacional, Argentina permanecía alejada de aquellas noticias, preocupada principalmente por la política nacional y el escenario interno, en el cual la idea de una "Nueva Argentina" encontraba tierra fértil en un pueblo ansioso de realizaciones propias.

Aquella mañana de 1951, finalizada la breve declaración de Perón, Richter tomó la palabra y dijo: "El proyecto fue llevado a cabo por un grupo de personas que estaba diariamente en grave peligro y este peligro aumenta cada día". Agregó, "la situación es completamente sensacional y como técnico que soy no estoy acostumbrado a producir tales sensaciones. Con este proyecto la Argentina ha atacado en sus bases a los proyectos que, sobre terrenos similares, se desarrollan en el exterior. Lo que los Norteamericanos consiguen en momentos de la explosión de una bomba de hidrógeno, en la Argentina ha sido realizado en laboratorios y bajo control... lo que significa que el exterior deberá girar hacia nuestro procedimiento". Y añadió: "Hace bastante tiempo que Argentina conoce el secreto de la bomba de hidrógeno; a pesar de ello, el presidente de la Nación nunca solicitó que le construyeran bombas. Yo controlo la explosión, la hago aumentar o disminuir a mi deseo". Luego, uno de los periodistas que estaba allí presente preguntó cuál era la materia prima necesaria para producir la explosión, a lo que Richter respondió: "Usted se sorprendería mucho si supiera cuál es el material que se usa, pero como otros tienen súper-secretos, nosotros también los tenemos. Tenemos que conservar los secretos de nuestros amigos para que ellos conserven los nuestros. No mantenemos el secreto por razones armamentistas, sino simplemente

por razones económicas e industriales, puesto que, además del espionaje para la guerra, existe el espionaje económico, y Argentina deberá proteger el secreto".

La historia está plagada de anécdotas sobre lo ocurrido en torno a esta conferencia como así también vinculadas a algunos episodios que tuvieron lugar en la Quinta de Olivos el día siguiente. Richter, por su parte, no disimulaba su espíritu sensacionalista, en tanto que los periódicos oficialistas más populares, como El Mundo, Noticias Gráficas y Democracia, colmaron sus páginas con citas de las diversas declaraciones favorables pronunciadas, seguidas de las frases más enaltecedoras y grandilocuentes. "La Argentina ha logrado el dominio de la energía atómica", "Tenemos la atómica", podía leerse en los titulares de la prensa.

Otros diarios mantenían en cambio un perfil más moderado. Entre ellos, La Nación titulaba "El presidente de la Nación expuso los trabajos sobre energía atómica". En cuanto a la repercusión internacional, debemos decir que, si bien el New York Times le dedicó al tema varios artículos durante una semana, la actitud predominante fue de marcado escepticismo. Los científicos más prestigiosos del mundo dudaban de la veracidad de lo anunciado e incluso argumentaban que, llegado el caso de que existiera alguna mínima probabilidad de que estuviese en el camino correcto, aun así, Argentina no tendría los medios técnicos necesarios para producir una reacción en gran escala. Igualmente significativo era el escepticismo entre el conjunto de físicos argentinos que el gobierno había proscripto por no creer en la experiencia de Richter.

Distinto fue lo ocurrido en el seno de la Atomic Energy Commission, donde la inquietud que despertara la noticia incitó al entonces titular del organismo, Mr. Gordon Dean, a indagar, a través de sus más estrechos colaboradores, acerca de lo que estaba aconteciendo en nuestro país. Y lo condujo, asimismo, a destinar a un laboratorio una partida presupuestaria de u$d50.000 a fin de que trabajara sobre el área en la cual Ronald Richter sostenía haber tenido éxito.

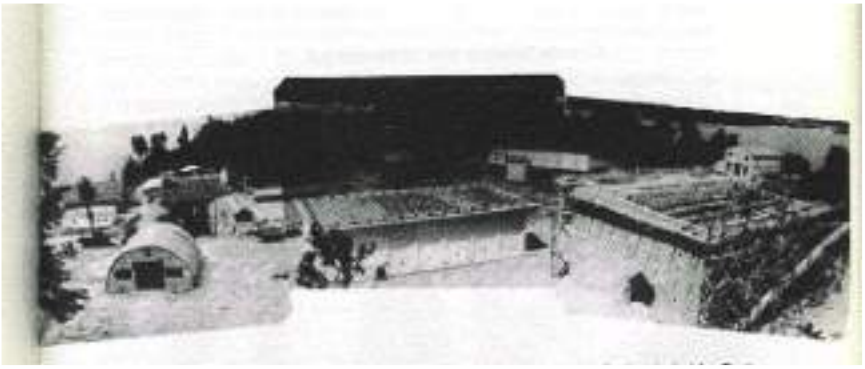


Fig. 4.2. Foto de época. En el extremo derecho el Laboratorio 1, construido en el mismo lugar donde se demolió el reactor. En el centro el Laboratorio 4, nunca utilizado. Al fondo se aprecia el laboratorio de Richter. A la izquierda, edificios de la Cía. de construcciones. Fuente: ídem 1.1

De regreso a la Isla Huemul ya nada sería igual, pues las relaciones del científico con la Compañía de Ingenieros del Ejército habían quedado irremediablemente dañadas. Atendiendo al nuevo deseo de Richter de contar con un reactor subterráneo, se contrató a la empresa SACES para que derribara la gran mole de cemento que todavía estaba en pie. Los cimientos se hallarían ahora 12m bajo tierra y sólo la cuarta parte estaría por encima de la superficie. Construir un enorme cilindro de concreto en el corazón de la roca no era para nada un proyecto sencillo.

González, por su parte, tenía serias dudas sobre la sensatez del curso que estaban tomando las acciones realizadas en Huemul. Desde la sanción del Decreto de Creación de la Planta Nacional de Energía Atómica en Bariloche, puesta bajo la dirección de Richter, las responsabilidades a él asignadas habían sido drásticamente limitadas y ya no tenía participación en la adopción de decisiones técnicas. Con todo, González deseaba al menos mantenerse informado, pues al fin y al cabo el decreto no lo liberaba por completo de obligaciones, ya que seguía siendo el encargado de liberar los cheques destinados a satisfacer las necesidades del laboratorio.

Tampoco la gente vecina a la isla veía con buenos ojos las actividades allí llevadas a cabo, de hecho, eran muchos los que se referían a ellas con despecho y comentaban, en clara alusión a un pronto final de Richter, “Este hombre no va a ver las nieves”. Ni siquiera Kurt Tank lo apoyaba ya con el ímpetu inicial, cambio que se manifestó cuando viajara a Huemul con el propósito de estudiar los aspectos termodinámicos de las reacciones obtenidas por aquel científico. En este sentido, personas que han estado presentes en una de las reuniones allí realizadas recuerdan que Tank se negó a seguir hablando por considerar que Richter “no tenía jerarquía técnica”. Así, la misma persona que al comienzo de la empresa le había brindado un considerable apoyo, se negaba ahora a entablar un diálogo científico con quien, según él, no le ofrecía conocimiento alguno sobre las reacciones termodinámicas ocurridas, hecho que, lamentablemente, llegó a los oídos de González recién un año después. Mas otro de los testigos de tal encuentro sí tuvo oportunidad de contarle su experiencia a González. Se trata del ingeniero Rossi, representante de la empresa Phillips, proveedora de los equipos principales, quien dijo haberse asombrado enormemente al entrar a la oficina de Richter y ver que su biblioteca sólo estaba compuesta por libros técnicos del secundario, y que “También había una bonita regla de cálculo que no sabía usar”.

El segundo semestre de 1951 se caracterizó por la sucesión de promesas que Richter les realizara a distintos funcionarios del gobierno, probablemente en respuesta a la creciente demanda de un González cada vez más inquieto. El 3 de septiembre Richter escribió diciendo que “casi diariamente obtenemos interesantes datos que podrán ser empleados a corto plazo para una demostración con energía atómica ante numeroso público”, en esa carta también haré mención a una “explosión demostrativa en el desierto”. El día 12 de ese mes el capitán González le informaría telegráficamente a Buenos Aires que el Doctor Richter instalaría una planta de

producción de agua pesada que cuatro o cinco semanas más tarde estaría llevando a dicha ciudad Cobalto 60, y que efectivamente en la isla se estaba produciendo energía nuclear.

Todo parece indicar que Richter desplegaba un juego de múltiples variantes: una de ellas consistía en incrementar los pedidos en momentos de crisis; otra, en acusar a algún colaborador de espionaje; y por último, la más frecuente de todas, prometer resultados sensacionales o simplemente anunciarlos. En cuanto a González, su realidad era bastante diferente, pues no parecía gozar de un abanico de alternativas semejante, sino que más bien se encontraba en claros aprietos al no disponer de los fondos que Richter reclamaba. Mientras que Perón, en palabras de este último, "La guerra la tiene en casa", frase con la que se refería a la influencia que sobre él ejercía Evita, en quién comenzaba a despertarse cierto descreimiento respecto a las posibilidades de éxito del proyecto que su marido tanto había patrocinado, situación que se sumaba a la complejidad de sus propios problemas: la campaña para su reelección en noviembre, el frágil estado de salud de su esposa, el fallido golpe militar liderado por el Gral. Menéndez, etc.

Si bien hacia fines de aquel año Perón fue reelecto presidente de la Nación, la salud de Evita continuaba deteriorándose, obligándolo a postergar la visita a Huemul que Richter le había propuesto tiempo atrás, motivo por el cual fue el científico quien finalmente viajó a Buenos Aires a entrevistarse con el General. En dicha oportunidad, argumentó que a pesar de que estaba en condiciones de obtener energía nuclear a gran escala, la industria argentina obstaculizaba tal producción al no brindarle los materiales necesarios, dejando entrever la posibilidad de buscar un país que fuera socio en el proyecto. Tiempo después, cuando comenzaba el año 1952, dos nuevas ocurrencias se apoderaron de su mente: la primera de ellas, que su laboratorio debía ser trasladado a la desértica zona de Indio Muerto y la segunda, que la empresa constructora de origen italiano SACES debía ser reemplazada por GEOPE, de origen alemán. Fue así que Richter mantuvo una serie negociaciones con el firme propósito de valerse de la carta mediante la cual el presidente lo envestía de plenos poderes para de este modo conseguir el mencionado traslado de la planta al desierto y la construcción de 20 chalets y 2 pabellones. Por otra parte, decidió interrumpir el diálogo con el Cnel. González, quien, al enterarse de sus intenciones, inmediatamente se trasladó a Bariloche para enfrentarlo. El vínculo entre ambos se tornaba cada vez más ríspido, como bien podemos notar en las palabras que el propio Richter le dijera a González: "Este es un país lleno de monos con colas largas subidos a palmeras, como usted".

La semana siguiente, González le presentó a Perón un glosario de diversos hechos y opiniones que avalaban tanto sus críticas hacia Richter como su juicio negativo acerca los -nulos- frutos obtenidos en el marco del Proyecto Huemul, el cual, añadía, no sólo no había demostrado aún haber transformado el formidable gasto demandado al Estado en resultado palpable alguno, sino que, además, se había visto entorpecido producto de los caprichos de su líder, sirviendo como ejemplo de ello la demolición del reactor que le había costado al país más de un millón de pesos.

Cabe destacar que tanto los ingenieros dedicados a proveer a los equipos a Richter como el propio Kurt Tank, es decir, aquella reducida comunidad científica con la que Richter accedía a tener contacto, todos ellos compartían dicha opinión.

Finalmente, muy a su pesar, pues no deseaba ser quien le diera esa noticia a Perón, González presentó su renuncia, dando lugar así al cierre de una etapa. Le sugirió entonces al presidente que creara una comisión investigadora y que enviara científicos argentinos a la isla. Pero, una vez más, Richter ganó la pulseada: la empresa alemana GEOPE fue designada encargada de las construcciones en tanto que la comisión de investigaciones fue suspendida. En cuanto al rol anteriormente desempeñado por el Cnel. González, en su reemplazo fue designado el Capitán de Fragata Pedro Iraolagoitía.

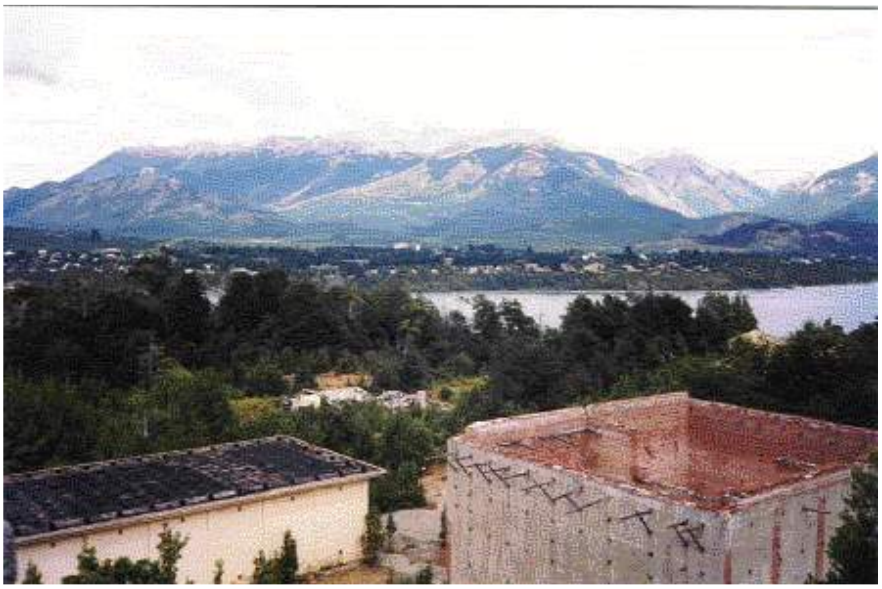


Fig. 4.3. Los laboratorios en la actualidad. En primer plano, el Laboratorio 1; a su izquierda, el 4; y al fondo, el Lago Nahuel Huapi y la ciudad de San Carlos de Bariloche. Compárese con la Fig.1.2.

Fuente: Foto del autor en ocasión de su visita en 1995.

Convalidando lo dicho por González, hacia fines de 1951 el reactor grande seguía siendo un mero proyecto, pues nada se había avanzado hasta ese entonces, de hecho, todo indicaba que Richter no sabía cómo hacerlo.

Luego de la demolición, se realizó el hoyo en la roca utilizando dinamita; posteriormente, se construyó el encofrado y se hormigoneó. Traspasando los límites de lo esperable, una vez que estuvo listo, en abril del siguiente año, Richter ordenó que lo taparan con hormigón. “Todo de vuelta”, exclamó, haciendo caso omiso al cansancio de la gente y al descrédito que recaía sobre él. En este sentido, uno de los participantes en aquella tarea declaró: “De noche le metíamos la mula y tirábamos piedras para rellenar el hueco”. Sin embargo, la opinión del equipo parecía no tener importancia a los ojos de Richter, que aun así determinó que el nuevo reactor fuera construido al aire libre, dejando el Laboratorio 1 disponible para los equipos y tableros de control.

El cumplimiento de dicha orden demandó la utilización de 17.950 bolsas de cemento para rellenar el hueco inicial; no obstante, pese a los gastos incurridos, el nuevo “reactor al aire libre” jamás se terminó de construir.

Richter solicitó también que la GEOPE construyera un laboratorio absolutamente seco, motivo por el cual éste sería edificado sin ventanas y con doble losa, y calefaccionado con estufas a leña. Fue tal el aislamiento del exterior que se logró montar que cuando se intentó hacer el revoque fino en el interior, éste no llegaba a secarse. Llegado el mes de junio, Richter cambió nuevamente de parecer y ordenó entonces la colocación de grandes ventanas. Una vez más, los trabajos habían sido realizados en vano.

Luego de entrevistarse con Richter en la isla, Iralagoitía retornó a Buenos Aires y le transmitió al presidente la conclusión que sacara de tal encuentro, a saber, que Richter era una completa estafa. Llegado a este punto, resultaba indudable que Perón estaba entre la espada y la pared, pues la apreciación negativa de su edecán, coincidente asimismo con la de González, se sumaba al creciente conjunto de críticas formuladas en torno a la figura de Richter y a su escaso profesionalismo, todo lo cual ponía en evidencia la veracidad de su palabra.

Lo anterior motivó la formación de una nueva comisión investigadora, integrada por 5 científicos y 20 legisladores. Entre ellos se encontraba el prestigioso José A. Balseiro, físico argentino que, casi producto del azar, se integró a la comisión científica como su quinto miembro luego de haber regresado a Buenos Aires, el 25 de julio, una vez que hubo finalizado su perfeccionamiento en Manchester. De este modo, Richter tuvo finalmente su primer revés. Aun arguyendo que se iría a EE.UU., no pudo evitar que comenzara a operar una comisión fiscalizadora.

1.3. Retorno a la razón

El viernes 5 de septiembre de 1952 la comisión investigadora arribó a la isla. Luego de brindarles un cordial recibimiento, Richter invitó a sus miembros a realizar un recorrido por el lugar, comenzando por enseñarles las instalaciones y continuando por dirigirlos hacia el área más elevada de la isla, donde una escalerilla de alrededor de 200 peldaños los condujo hacia una oficina desde la que podía dominarse todo el perímetro. Una vez allí, Richter expuso sus ideas aunque, a decir verdad, sus palabras no fueron mucho más allá de lo que había informado tiempo atrás, en la conferencia de prensa de marzo de 1951. Posteriormente, los condujo hacia su centro de operaciones, el Laboratorio 2, único que permaneció activo durante todo el Proyecto Huemul. En el mismo, se habían construido muros de hormigón que, sin llegar a la altura del techo, sectorizaban el espacio dibujando una especie de laberinto que servía de protección contra la radiación gama.

Mas el centro de atención estaba puesto en el electroimán, dos electrodos de carbón separados unos centímetros entre sí, en cuyas piezas se habían realizado perforaciones que facilitaban la

inyección de los elementos reactivos, entre ellos, hidrógeno y litio; se había instalado también un contador Geiger que permitía detectar la radiación. Al encenderse el electroimán, el hidrógeno combustionaba y, al mezclarse con el litio, producía una llamarada roja. En eso consistía, a grandes rasgos, la experimentación. La complejidad del equipo asombró a los congresales, más no causó impresión alguna a los científicos ni, mucho menos, a Balseiro y Bancora, quienes estaban familiarizados con esa clase de dispositivos, de hecho, este último tenía sobrada experiencia en electroimanes.

Luego de dicha presentación inicial, Richter realizó su experimento, comenzando entonces por inyectar los reactivos: hidruro de litio e hidrógeno gaseoso. En el pico de potencia se produjo un gran ruido y tanto los escalímetros como el contador Geiger cercano al electroimán comenzaron a hacer anotaciones. El asombro que lo observado despertó en los legisladores no fue en cambio compartido por los científicos, ya que los contadores Geiger que habían tenido la precaución de llevar consigo no habían acusado presencia alguna de las radiaciones gama propias de las reacciones termonucleares. Tal desencanto fue seguido, el día después, por el cuestionamiento de algunos de los argumentos teóricos que Richter esgrimiera en la explicación brindada en su oficina. Producto de ello, el científico se ofreció a realizar el experimento nuevamente, utilizando esta vez lámina de indio como material. Sin embargo, ante la manifiesta negativa, reiteró la primera experiencia. En esta oportunidad, la atención de Bancora y Balseiro se dirigió a observar el modo en que estaban instalados los equipos, mientras que los científicos, por su parte, hicieron uso de la muestra radioactiva de radio que, astutamente, habían traído desde Buenos Aires. Fue así que, cuando la acercaron al detector Geiger, notaron que no acusaba actividad alguna: el equipo de Richter no servía. “Si esto anda, yo soy pescado y me voy directo a la feria”, dijo Balseiro.

Los dictámenes de los diversos observadores fueron coincidentemente negativos[1]. Para los científicos, Richter era un completo fraude. Ahora bien, ¿cómo se lo iban a decir a Perón, que tanta confianza había depositado en él? Fue el Ministro Mende quien asumió la difícil tarea de transmitirle al presidente la conclusión a la que la comisión había llegado, en tanto que éste, como era de esperar, dolido y decepcionado, se resistía a aceptar la validez de tal dictamen. No obstante, acto seguido, le ordenó a Richter que viajara a Buenos Aires, donde se reuniría con el mandatario por última vez el 25 de septiembre de 1952, 20 días después de que la comisión investigadora hubiese arribado a la isla. En dicha oportunidad, le ordenó que realizara una réplica a los informes en cuestión, más cuando Richter regresó a la Capital, el 11 de octubre de ese mismo año, con motivo de entregarle la respuesta solicitada, Perón se negó a verlo. En cuanto al documento elaborado, éste no agregaba información relevante ni aducía argumento científico alguno que refutara a la comisión investigadora. Por otra parte, no sólo el presidente se rehusaba a admitir el dictamen de la comisión, sino que incluso el conjunto de sus allegados se resistía a

[1] Ver *“Informe del Dr. José Balseiro referente a la inspección realizada a la Isla Huemul en 1952”* – CNEA.

aceptar la idea de que todo hubiese sido una gran farsa. Pues quién podría tolerar una noticia semejante después de haber invertido grandes sumas de dinero, depositado un enorme crédito y realizado múltiples anuncios. No era ésta una noticia fácil de digerir.

Fig. 4.4. La Isla Huemul en la actualidad: convertida en museo. En la foto el laboratorio de Richter; utilizado como práctica de explosivos en ocasión del conflicto con Chile de 1978.

Fuente: foto del autor.

Entre tanto, en un laboratorio similar al de Richter, Bancora, de la Universidad de Rosario, reprodujo el experimento observado aunque sin inyectar litio ni hidrógeno. Los contadores arrancaron tal como lo habían hecho hacía un mes en la Isla Huemul, lo cual demostraba que si los Geiger estaban mal calibrados, podían acusar señales producto de oscilaciones electromagnéticas en el circuito. Es decir que, como era tristemente de esperar, esto no necesariamente suponía la presencia de radiación gama.

El 22 de noviembre, aprovechando que Richter se encontraba en la Capital, Iraolagoitía, con ayuda del Ministro de Guerra General Lucero, intervino en la isla clausurando los laboratorios y oficinas allí instaladas. Dos días después del hecho, Richter volvió a Bariloche, debiendo permanecer dentro de su casa. Dos semanas transcurrieron hasta que la prensa tomó conocimiento de lo sucedido, sin embargo, poco a poco, al paso que el velo comenzaba a descorrerse, el sueño argentino de la energía nuclear se iba desvaneciendo, al menos por el momento.

Tiempo después, el clima pareció haberse enfriado, con la sola excepción del acalorado debate que tuvo lugar dos años más tarde en la Cámara Baja. Aquel 1º de septiembre de 1954 en el que los diputados de la oposición se animaron a meter el dedo en la llaga, los representantes peronistas se pusieron notoriamente en guardia, ya que eran plenamente conscientes de que deberían brindar respuestas acerca de un proyecto esencialmente indefendible, una aventura

costosa que hacía agua por todos lados. ¿Por qué razón en el Segundo Plan Quinquenal se han ignorado por completo las investigaciones atómicas?, preguntaba el líder del bloque radical Carlos Perette. Una batería de hechos dolorosos para el país les fue recordada a los legisladores oficialistas en medio de un concierto de aplausos. Fue entonces que tomó la palabra el diputado justicialista Rumbo, que había tenido la oportunidad de visitar la isla junto a la comisión investigadora.

Con gran calma, Rumbo procedió a explicar la desazón de Perón e informó que en la Dirección Nacional de Energía Atómica, el Capitán Iraolagoitía y un equipo conformado por más de 150 hombres se encontraban trabajando sobre el material dejado por Richter, y que se esperaba contar, dentro de 10 años, con la primera usina atómica. Dicho plazo se prolongaría más de lo previsto, pues la primera central, llamada Atucha I, se puso finalmente en marcha 20 años más tarde. El primer reactor de investigación, en cambio, lo hizo en 1958, 4 años después del referido anuncio. En el marco de aquel acalorado debate y desencadenando los aplausos de un sector del recinto, el diputado concluyó su alocución declarando: “Benditos sean los errores que abren caminos nuevos a los pueblos”.

En este punto, cabe preguntarse qué había pasado aquel 16 de febrero de 1951 en el que Ronald Richter le comunicó al Cnel. González que había obtenido el tan ansiado éxito. Su ayudante, Heinz Jaffke, y el Dr. Mario Mariscotti, autor de una renombrada investigación sobre el Proyecto Huemul, develaron el secreto en el invierno de 1980. Contaron entonces que Richter había montado un espectrógrafo con una placa fotográfica que permitía registrar imágenes de los átomos “quemados” por el arco voltaico. A medida que se producía la descarga, la placa se movía registrando el espectro producido en distintos momentos de la experiencia, de modo que lo que se observaba luego en la fotografía obtenida era una secuencia irregular de líneas delgadas verticales, en tanto que cuando se lograra la fusión nuclear, la placa debería registrar un ensanchamiento de las líneas.

Volviendo a lo ocurrido el 16 de febrero, en dicha ocasión la placa no mostraba líneas rectas, sino desplazadas hacia el violeta, lo cual fue interpretado por Richter como una señal de éxito. Jaffke, en cambio, consideró que esa desviación podía deberse a una falla en el mecanismo de deslizamiento puesto que, agregó, éste “no era bueno, a veces se trababa”. En consecuencia, le sugirió repetir el experimento, recomendación que Richter descartó inmediata y rotundamente. Se negó así a repetir el experimento pese a que todo indicaba que había habido un error instrumental. No sólo eso, sino que, de acuerdo a lo investigado por el Dr. Mariscotti, Richter, además de haber actuado contrariamente a las normas más elementales de la investigación científica al negarse a repetir el experimento, también se equivocó drásticamente al creer que debía esperar una desviación del espectro en lugar de un ensanchamiento.

Hacia febrero de 1953, en el contexto del triste desenlace descripto, Richter abandonó su residencia en Bariloche; silenciosa y disimuladamente, se trasladó a una casa de Monte Grande[2].

Con el tiempo, su nombre fue dejando de ser escuchado hasta que, a mediados de la década del '50, ya nada se sabía de él. Luego de que el gobierno peronista fuera derrocado en septiembre de 1955, en uno de los laboratorios de la Isla Huemul se pintó un cartel en el cual podía leerse: "Gastado sin ningún provecho: $62.428.729,82.-", leyenda que, 18 años después, en 1973, sería tapada con pintura negra.

En lo que al maravilloso andamiaje de equipos que había quedado en Huemul respecta, éste fue trasladado justo enfrente, en lo que actualmente es el Kilómetro 10 de la avenida Ezequiel Bustillo, ruta de acceso a Bariloche. Allí, físicos prominentes como Balseiro y Gaviola fundarían la mejor escuela de tecnología del país: el Instituto Balseiro, contiguo al cual se crearía el Centro Atómico Bariloche.

1.4. Instituto Balseiro

Este reconocido establecimiento educativo, originariamente llamado "Instituto de Física Bariloche", fue fundado el 1° de agosto de 1955 por el Dr. José A. Balseiro, con el propósito de formar Licenciados en Física. Su creación se enmarcaba en el acuerdo suscrito el 22 de abril de 1955 entre la Comisión Nacional de Energía Atómica y la Universidad Nacional de Cuyo, y había sido motivada por el notorio déficit de físicos profesionales que acusaba nuestro país, carencia por demás comprensible considerando que, entre los años 1810 y 1955, en Argentina se egresaron menos de 40 licenciados en dicha materia. En tal sentido, cabe destacar que la primera camada de ingresantes al nuevo Instituto haya contado con la incorporación de 15 alumnos becados sobre 30 previamente inscriptos.

"*El Instituto de Física funcionaba en el marco de la Planta Experimental de Altas Temperaturas, que incluía un departamento de investigaciones a cuyo frente estuvo, desde 1956, Manilo Abele, otro italiano que provenía de Córdoba. Los planes de investigación estaban orientados hacia la física del plasma, rama en la cual en esa época se podían hacer aportes originales con equipo relativamente económico. A partir de 1958, Balseiro tomó a su cargo la dirección de toda la Institución, que para entonces ya se denominaba Centro Atómico Bariloche. En junio de 1958 se graduó la primera promoción de licenciados en física y, en agosto de ese mismo año, se presentó ante la Universidad de Cuyo la primera tesis doctoral, la de Leo M. Falicov, dirigida por Balseiro*"[3] .

[2] Se puede encontrar aún una de las últimas imágenes públicas de Richter en la emisión del programa "Allá Vamos" (Canal 13) emitido en 1984. Disponible en www.youtube.com

[3] López Dávalos, A., y Badino, N. (1994). *Antecedentes Históricos del Instituto Balseiro.* Recuperado de http://www.ib.edu.ar/index.php/el-balseiro/historia-del-ib/antecedentes-del-instituto-balserio.html

La temprana muerte del Dr. Balseiro, a sus 43 años de edad, dejó al Instituto carente de su primer gran motor desde aquel 26 de marzo de 1962. A causa de este triste episodio, el Dr. Carlos Mallmann, con tan sólo 34 años, asumiría la conducción del mismo. Mallmann había desempeñado funciones en el Argonne National Laboratory de los EE.UU. y luego había regresado al país con motivo de la invitación que recibiera a raíz de su trabajo de tesis doctoral en la Universidad de Buenos Aires. En una entrevista declaró: "*El Instituto era otro mundo tanto desde el punto de vista científico como humano. Estos valores institucionales eran algo desconocido en la Argentina".* Ese año recibió el nombre de Instituto de Física Dr. Jose A. Balseiro". Por aquel entonces, Bariloche tenía alrededor de 10.000 habitantes y la Patagonia estaba despoblada.

Con el correr del tiempo, el Instituto fue afianzándose. En 1977, y como respuesta a los requerimientos del Plan Nuclear Argentino, fue incorporada a la oferta académica la carrera de Ingeniería Nuclear que, desde 1982, cuenta con el reactor experimental RA-6, utilizado en las prácticas de los cursos de reactores nucleares como así también en los de radio protección y seguridad e instrumentación y control.

La fundación del Instituto Balseiro constituye en sí un hecho de suma importancia, tanto en lo que a la formación académica respecta como por su derivada contribución al desarrollo nacional. Como bien sabemos, el recurso humano es un eslabón fundamental e insustituible en la cadena de desarrollo científico-tecnológico, de modo que todo esfuerzo realizado a tal fin resultará estéril si no se cuenta con investigadores y técnicos calificados que lleven adelante el proyecto desde el momento de su planificación hasta las posteriores etapas de implementación y evaluación. Ello explica que la creación de un establecimiento de enseñanza superior que formara físicos profesionales de alto nivel resultara vital en vistas de la ambición propia del Plan Nuclear Argentino, enmarcado en centrales nucleoeléctricas, plantas de producción de combustible nuclear, exploración y explotación de yacimientos de minerales de uranio y un sin número de aplicaciones en la industria y la medicina. Por otra parte, cabe mencionar que, en el campo de la ciencia nuclear, esta problemática se complejiza debido a que el exponencial avance de los conocimientos científicos a nivel mundial le impone un permanente desafío a la enunciada meta de disponer de recursos humanos formados, entrenados y actualizados.

En suma, la formación académica tradicional, basada en los libros y en el aula, resultaba insuficiente a los fines propuestos. Para mantenerse siempre actualizados era necesario por tanto pensar en vías alternativas a la educación de tipo enciclopédico, entre las que comenzó a tomar fuerza la opción de que la enseñanza de la ciencia se desarrollara en un medio impregnado por la investigación. Es precisamente en este aspecto que se destaca la contribución de uno de sus principales mentores, el Dr. José A. Balseiro, ya que el método de aprendizaje por él propuesto y efectivamente implementado consistía en complementar la enseñanza/aprendizaje de las ciencias con la promoción de la investigación llevada a cabo por los propios alumnos, a quienes se les

exigía dedicación exclusiva al estudio, método que, vale decir, ha convertido al Instituto Balseiro en uno de los más singulares establecimientos de enseñanza universitaria del país.

2. CENTRALES NUCLEARES

El abastecimiento de energía eléctrica constituye un factor clave para el desarrollo de una nación, deviniendo por tanto obligación ineludible de todo gobierno asegurar el suministro eléctrico necesario para el bienestar de los habitantes. En este sentido, durante muchos años, Argentina ha generado dicha energía valiéndose de centrales térmicas y/o hidráulicas, haciendo uso de la amplia disponibilidad de recursos naturales con que cuenta. Sin embargo, a comienzos de la década del '70, al constatar la factibilidad de desarrollo tecnológico así como la presencia de grandes existencias de uranio, comenzó a vislumbrarse la posibilidad de añadir una nueva fuente: la energía nuclear. A raíz de la materialización de tal proyecto, en el presente, nuestro país sustenta su actividad energética en tres pilares: las centrales térmico fósiles (TER), las centrales hidráulicas (HID) y las centrales nucleares (NUC); adicionándose en estos últimos años la irrupción de las renovables (REN).

De acuerdo con su ubicación geográfica, los equipos de generación pertenecen a 8 regiones: Noroeste (NOA), Noreste (NEA), Centro (CEN), Litoral (LIT), Cuyo (CUY), Buenos Aires/Gran Buenos Aires (BAS/GBA), Comahue (COM) y Patagonia (PAT); y el conjunto de todos ellos constituye el Sistema Argentino de Distribución Interconectada (SADI).

La potencia bruta total instalada de este sistema aparece como fotografía de los diversos períodos por los que ha atravesado nuestro país. De igual modo, también la potencia disponible deja una importante huella en la historia nacional, pues en vano sería que estuviese instalada si no pudiéramos disponer de ella. En el caso argentino, el país dispone de alrededor de 32.700MW aunque, claro está, este número varía de acuerdo con las condiciones de mantenimiento de las centrales, paradas programadas, cotas hídricas, disponibilidad de combustibles, puesta en operación de nuevas centrales, salida de servicio de otras, etc. Por otra parte, si analizamos la composición de la potencia instalada, la participación aproximada de cada de las fuentes mencionadas es: 58% (TER), 35% (HID) y 5% (NUC), lo cual no significa que, en relación a la potencia suministrada (disponible), los guarismos sean necesariamente los mismos. A modo de ejemplo, podemos referirnos a los datos registrados en 1980, año en el cual, estando operativa tan sólo una central nuclear, la potencia instalada poseía una distribución semejante a la actual, esto es, 60%, 36% y 4%. Notoriamente distinta es en cambio la situación si observamos el grado de participación de cada una de las centrales en lo que a la energía disponible respecta, ya que, en este caso, el valor representado por la TER desciende a 54%, mientras que el de la NUC asciende hasta alcanzar el 10%.

Surge entonces en este punto una primera conclusión: las centrales nucleares son altamente confiables en cuanto a calidad de suministro.

Si distribuimos regionalmente los 32.700MW instalados, tendremos un 37% en BAS/GBA, un 21,6% en COM, un 9% en el NEA, un 8% en la región CEN (Provincia de Córdoba), otro 8% en el NOA, un 7,5% en el LIT (Provincia de Santa Fe), un 5,7% en CUY, y el resto en la PAT.

Argentina posee ciertas características que son atípicas para un país en vías de desarrollo: 1) bajo índice de crecimiento demográfico; 2) salario en dólares alto; y 3) mano de obra calificada; particularidades que, complementándose con la variedad y cantidad de recursos naturales que dispone, le han permitido llevar a cabo planes energéticos generalmente autosuficientes (con la excepción de los últimos diez años), utilizando principalmente combustibles fósiles y recursos hidroeléctricos. No obstante, ello no impidió que tempranamente se planteara la necesidad de desarrollar el recurso nuclear a fin de conservar dicha independencia energética. Es decir que, con el firme propósito de no abandonar la senda de la autosuficiencia, se consideró necesario establecer un programa energético nacional que estuviese hermanado a un plan nucleoeléctrico contribuyente. Con relación a tal proyecto de incorporación al equipamiento eléctrico de centrales nucleares, cabe destacar que el mismo supone la adopción de una decisión trascendental que no solamente involucra intereses económicos, tecnológicos e industriales, sino también éticos y políticos.

La posibilidad de implementar una política de desarrollo nuclear energético exitosa se encuentra condicionada por la presencia de una serie de factores necesarios a tal fin, a saber: a) una infraestructura científica y tecnológica que permita la participación progresiva de la industria e ingeniería local, conjuntamente con el desarrollo de los recursos humanos; b) una planificación realista con recursos económicos suficientes; y c) una estructura de decisión, realización y vinculación con países nuclearmente desarrollados que permita la transferencia de tecnología. Supone entonces la realización de un trabajo interdisciplinario e interministerial previo, orientado al efectivo desarrollo de tales capacidades. En el caso argentino, de acuerdo al organigrama de la Administración Pública Nacional vigente (2018), requeriría de un esfuerzo conjunto del: a) Ministerio de Hacienda (a través de la Secretaría de Hacienda propiamente dicha + la Secretaría de Finanzas + la Secretaría de Energía); b) Ministerio de Educación, Cultura, Ciencia y Tecnología (a través de la Secretaría de Articulación Científico Tecnológica) y c) Ministerio de Relaciones Exteriores y Culto, mediante la acción coordinada de diversas áreas y organismos, entre ellos, la Dirección General de Asuntos Nucleares.

Avanzando en esa dirección, hacia 1967, nuestro país había logrado ya:

1. La comprobación de las existencias uraníferas suficientes para asegurar la independencia en el aprovisionamiento de combustible.

2. La capacidad piloto de producción de materia prima básica que da origen al combustible nuclear.

3. La capacidad potencial para la producción de los elementos combustibles.

4. La capacidad científico-tecnológica para evaluar proyectos de centrales nucleares, conjuntamente con respaldo científico.

5. La capacidad para asegurar la protección radiológica de la población y del medio ambiente.

En 1964, la CNEA inició el estudio de factibilidad para lo que sería la primera central nuclear no sólo de Argentina, sino incluso de Latinoamérica: Atucha I, cuya puesta en marcha ha marcado el comienzo de una nueva etapa en lo que a la evolución electro-energética nacional respecta.

Atucha I, ubicada unos 100km al noroeste de la Ciudad de Buenos Aires, en la localidad de Lima, posee 319MW de potencia neta a base de uranio natural y agua pesada, del tipo recipiente de presión PHWR. Al respecto, cabe aquí subrayar que tal incorporación del uranio a los recursos energéticos aprovechados en el país no es en modo alguno un hecho menor, ya que trae aparejada una significativa economía de petróleo y gas. Asimismo, es importante destacar también que, desde que la central entrara en operación comercial, en junio de 1974, hasta la actualidad, se han obtenido resultados sumamente positivos.

En 1968, se firmó el contrato con Siemens AG, empresa alemana ganadora de la licitación. Si bien la modalidad elegida fue “llave en mano”, se entabló un fluido y enriquecedor intercambio de conocimientos técnicos que, a su vez, nutrió el desarrollo los recursos humanos argentinos, que participaron aportando el 40% del proyecto (13% de los elementos electromecánicos). Como consecuencia, se llevó a cabo un proceso de calificación de empresas industriales con capacidad para la industria nuclear, fundamentalmente en lo que refiere a calidad de suministros.

En 1972, con el objeto de iniciar la construcción de una segunda central nuclear de 600MW en Embalse, Provincia de Córdoba, se realizó un nuevo llamado a concurso en el cual, a diferencia del procedimiento anterior, se exigía garantizar un mínimo del 50% de participación nacional. En esta oportunidad, se presentaron 8 ofertas, realizadas por 6 empresas de 5 países diferentes, con alternativas de uranio natural y enriquecido. Entre ellas, la empresa que resultaría adjudicataria sería Atomic Energy of Canada Limited (AECL), que comenzaría los trabajos correspondientes para la instalación del reactor CANDU (Canadian Deuterium Uranium) el 7 de mayo de 1974, reservándose un 50% del proyecto (33% de los elementos electromecánicos) a la especificada participación nacional. Así fue que, habiéndose establecido dicha cláusula y con motivo del inicio de las actividades de montaje electromecánico de la central, la CNEA creó, en 1977, una organización especial de montaje fin de realizar ella misma esta tarea. Lo relevante de este caso

es que, siendo la principal subcontratista del área nuclear de la obra en cuestión, la CNEA pudo tener un acceso privilegiado al *know how*, ampliando así sus conocimientos sobre centrales.

El nuevo reactor también operaba a base de uranio natural y agua pesada aunque con tubos de presión. Ahora bien, es importante tener presente que aunque se asemejan en relación al combustible y al moderador, los reactores Atucha I y Embalse difieren claramente en su concepción. Pues, mientras en Atucha I tenemos un recipiente de presión con 253 canales de elementos combustibles de 5,25m de largo (cada elemento combustible de Atucha I es un manojo con 37 barras) colocados en posición vertical; en Embalse el reactor propiamente dicho está formado por un tanque cilíndrico horizontal denominado "calandria" que contiene el agua pesada del moderador. La calandria se encuentra penetrada horizontalmente por 380 canales de elementos combustibles (12 elementos combustibles por canal). No obstante Embalse poseía otra característica de diseño relevante. Utiliza barras de cobalto dentro del núcleo para regular el flujo neutrónico, que al residir durante cierto tiempo dentro del reactor, producen Cobalto 60. Insumo indispensable para la medicina y la industria.

Las últimas actividades de montaje finalizaron en enero de 1982, mes en el que se concretó también la primera sincronización a la red de 132Kv. En diciembre del mismo año se inició la carga de agua pesada en el reactor y se completó la carga de los 4560 elementos combustibles del núcleo. Finalmente, el reactor nuclear alcanzó la condición de criticidad (punto en el cual la reacción de fisión se torna autosostenida) el 13 de marzo de 1983 y el día 25 del mes siguiente la Central de Embalse fue conectada a la red.

Dicha central triplicó la capacidad nucleoeléctrica del país, que pasó de los 319MW de Atucha I a los 919MW del conjunto Embalse + Atucha I. Es de destacar también que, durante mucho tiempo, Embalse fue el turbogrupo de mayor potencia de generación eléctrica de Argentina.

Por otra parte, cabe subrayar la importancia que adquirió la participación de la ingeniería nacional en este proyecto, siendo que el 33% que representó en Embalse contrasta notoriamente con lo observado en el caso de Atucha I, donde ésta fue sencillamente nula. Asimismo, dicho incremento de la participación de la ingeniería nacional se ha manifestado en el montaje de los grandes componentes, donde con un salto del 45% se pasó del 50% en Atucha I al 95% en Embalse, así como también en la utilización de suministros electromecánicos nacionales, que fue del 13% en la primera y del 33% en esta última, cifras que revelan que, 9 años después de Atucha I, Argentina había logrado un *know how* y una capacidad de construcción de centrales nucleares para nada despreciables.

Otro hecho relevante fue que, producto de las exigencias políticas de Canadá, vinculadas a acuerdos de salvaguardias derivados de la firma del Tratado de No Proliferación -del cual Argentina no formaba parte por ese entonces-, Argentina no pudo adquirir la tecnología necesaria para la fabricación de los elementos combustibles. Esa imposibilidad, no obstante, impulsó a la

CNEA a emprender un desarrollo propio que luego permitió el progresivo reemplazo de los elementos combustibles canadienses con los que el reactor había comenzado a funcionar por los nacionales, de acuerdo a un plan de irradiación y verificación prestablecido cuyo objeto era evitar que las garantías del contrato fueran anuladas a raíz de dicho accionar.

Con todo este enorme bagaje de conocimientos, experiencia y desarrollo industrial adquiridos, Argentina comenzó a proyectar la construcción, en terrenos cercanos a Atucha I, de su tercera central nucleoeléctrica: Atucha II[4]. Tras un detenido análisis de las diversas alternativas posibles, en mayo de 1980 se firmaron los contratos correspondientes a tal fin, habiendo sido adjudicada la contratación de servicios y suministros importados a la empresa alemana Kraftwerk Union AG (KWU). Paralelamente, el Poder Ejecutivo Nacional constituyó la Empresa Nuclear Argentina de Centrales Eléctricas S.A. (ENACE) -75% propiedad de CNEA y 25% de KWU-, que operaría como arquitecta industrial y receptora de la tecnología extranjera que sería transferida a nuestro país.

La definición del Plan Nuclear de 1979 había respondido a la necesidad de promover una activa participación de la ingeniería e industria argentinas, asegurando perspectivas a largo plazo y continuidad en la acción, condiciones necesarias para que el sector privado se viera incentivado a embarcarse en dichas actividades y para atraer las inversiones demandadas. Se adquirieron entonces las licencias y la tecnología de fabricación de los grandes componentes del sector nuclear a fin de que las empresas metalúrgicas nacionales más competentes iniciaran su construcción, otorgándoles ventajosas medidas de promoción[5]. Téngase en cuenta que la mera construcción de una central nuclear no necesariamente implica el acceso a la tecnología nuclear. En este contexto, Argentina apuntó a promover un desarrollo nacional cada vez más autosuficiente en lo que a su infraestructura nuclear respecta, formalizando a tal fin acuerdos de transferencia de tecnología en las licitaciones internacionales.

En marzo de 1981 se iniciaron las obras de excavación e instalación del obrador de Atucha II, realizándose la primera colada de hormigón en el edificio de la turbina en octubre del mismo año. Hacia julio de 1986, acerca del avance del proyecto, se observaban los siguientes datos: obra civil 51%, suministros nacionales 27%, servicios nacionales 32%, suministros importados 77% y servicios extranjeros 74%. En resumen, el grado de avance registrado en el campo de los suministros y servicios importados era mayor que en el caso de los nacionales, hecho que en parte se explica por las disímiles fuentes de financiamiento con que contaba cada uno de ellos.

---

[4] Según el Plan Nuclear Argentino aprobado por el Decreto Nº 302/79, cuatro nuevas centrales serían construidas desde esa fecha hasta el año 1997, de las cuales una entraría en operación en 1987 (Atucha II), otra en 1991 y las restantes en 1994/95 y 1997. A su vez, el Plan contemplaba la construcción de una planta de agua pesada y de todas las instalaciones necesarias para completar cada una de las etapas del ciclo de combustible nuclear. Lamentablemente, nada de esto sucedió a término. Hacia mediados de la década del ‘80, a raíz de los insuficientes fondos proveídos por el Tesoro, el Plan Nuclear avanzaba a pasos muy lentos. Distinta fue la situación a mediados de los ‘90, cuando el Plan se vio virtualmente paralizado, no debido a problemas económico–financieros, sino a decisiones políticas contrarias al mismo.

[5] Impsa, Perez Companc y Techint, por nombrar algunas.

Pues mientras los primeros contaban con el adecuado financiamiento externo, los fondos que el Tesoro destinó a las provisiones nacionales fueron desde el comienzo mismo de las obras permanentemente inferiores a los necesarios, lo cual derivó en un considerable retraso del cronograma de trabajo previsto. En este contexto, el balance general indicaba que, a un año de la proyectada entrada en operación (junio de 1987), el avance promedio de la obra era tan sólo del 50%, lo que llevaba a pensar que su inauguración se demoraría al menos 5 años más de lo planeado.

En 1994 la obra se detuvo completamente. En 2000 desapareció el diseñador original (KWU). En 2006 se tomó la decisión de continuar la obra sin el diseñador original. En 2014 se realizó la puesta a crítico y en 2015 se logró la operación a plena potencia.

Se necesitaron veintiocho años para terminar Atucha II. La obra transcurrió por casi todos los signos monetarios que tuvo la Nación Argentina, Pesos Ley, Peso Argentino, Austral y el Peso actual. Solo le faltó el Peso Moneda Nacional, que perdió vigencia en 1969. Esto conlleva a que sea en la práctica imposible la respuesta a la pregunta ¿cuánto costó Atucha II? Y eso sin contar los costos hundidos del capital inmovilizado durante más de doce años (1994-2006).

Fig. 4.5. Interior del reactor de Atucha II. En primer plano, las tapas de los canales que contienen los elementos combustibles; y las barras de control. En la actualidad esta zona es de acceso restringido solo en caso de emergencia

Fuente: Foto del autor en ocasión de su visita en 2014.

Entre tanto, a fines de 2015 salió de servicio la Central Nuclear de Embalse para su extensión de vida. Sus objetivos principales fueron aumentar en, al menos, treinta años la vida útil; y aumentar en un 6% la potencia instalada. El plan de actividades comenzó en 2016 y concluyó en 2019, habiendo sido los principales desafíos: 1) el cambio de los tubos de presión de la calandria; 2) el cambio de los generadores de vapor (CM); 3) el cambio del computador de proceso. La integración de los componentes nacionales fue del 90% y se calcula que el proyecto tuvo un costo de MM u$s 1700.-

En nuestros días las centrales nucleares aportan hoy 1785 MW de potencia bruta, Atucha I (357 MW), Atucha II (745 MW) y Embalse (683 MW). La performance de Atucha I y de Embalse ha sido de excelencia, con factores de carga superiores al 95%. Tanto es así que Embalse ha sido premiada a nivel internacional, como la segunda mejor central en su tipo. El profesionalismo y la

capacidad científico tecnológica del sector está demostrada y reconocida a nivel mundial. En la actualidad las centrales son operadas por Nucleoeléctrica Argentina (NA-SA).

3. CICLO DE COMBUSTIBLE NUCLEAR

Dominar la energía nuclear es poseer la tecnología para dominar el "ciclo de combustible nuclear". Para precisar un poco esta idea comencemos por definir el ciclo de combustible nuclear como el conjunto de operaciones industriales sucesivas a las que se someten los materiales fisionables (uranio y plutonio) para su aprovechamiento en un reactor nuclear.

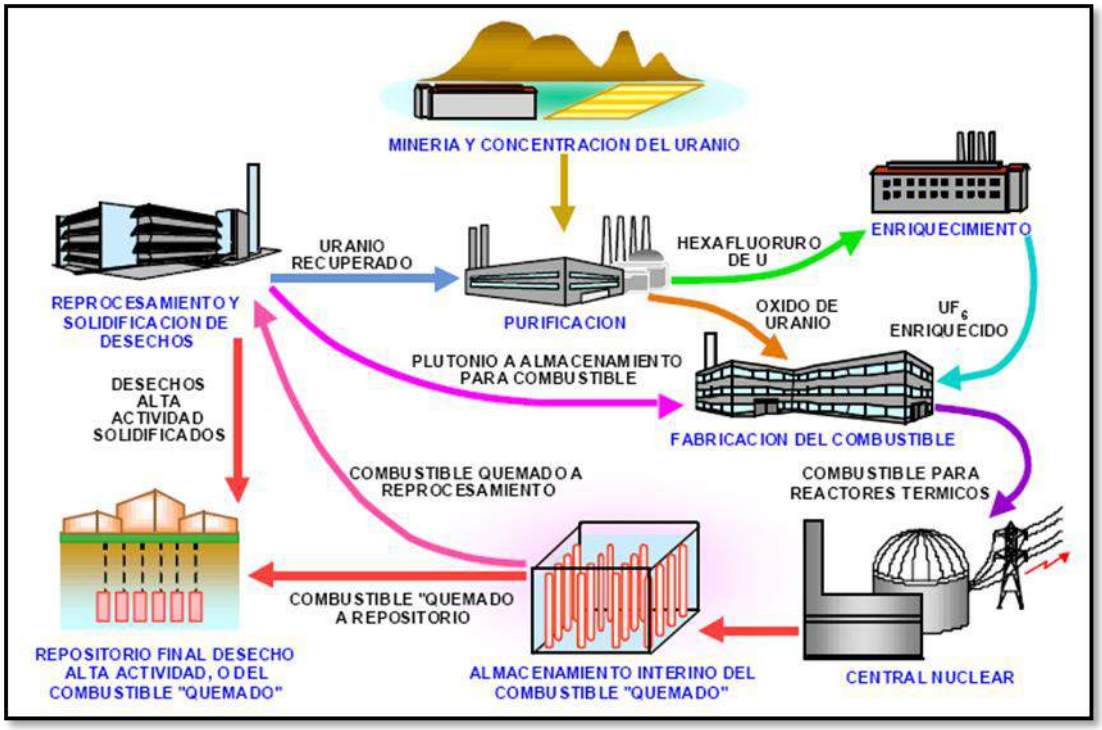


Fig. 4.6. Esquema del Ciclo de Combustible Nuclear. Fuente: CNEA

3.1. Minería de uranio en Argentina. Conceptos básicos.

3.1.1 Descripción.

El uranio es un elemento metálico bastante común presente en la naturaleza, siendo la uranita la que presenta concentración económica de mayor relevancia. Como hemos mencionado anteriormente, es el elemento más pesado que se encuentra en la tierra (en el núcleo: 92 protones, resto neutrones) y aparece como una mezcla de tres isótopos: 99.28% [U238], 0.71% [U235] que es el fisil, y 0.01% [U234]. Se cree que los recursos de mineral son mayores a los percibidos. Solo en la última década las reservas de uranio se incrementaron un 25%, dado la

mayor exploración. La producción en mina (o sitio aledaño) da como resultado el U3O8, que posteriormente se transforma en UO2 en plantas industriales mediante operaciones físico-químicas. El UO2 es el insumo para producir los pellets que conformarán el elemento combustible.

3.1.2 Producción.

La producción de uranio en el mundo alcanzó en 2013 la cifra record de 59370 Tn. [U] provenientes casi en su totalidad de recursos convencionales. Estos últimos comprenden aquellos recursos donde el uranio se obtiene como producto principal o sub-producto de importancia; a diferencia de los recursos no convencionales donde el uranio se obtiene como sub-producto menor del proceso, como por ejemplo la recuperación de uranio a partir de rocas fosfáticas o menas no ferrosas. Que los recursos no convencionales sean explotados marginalmente en la actualidad obedece a situaciones de exclusivamente mercado y no tecnológicas.

Las 59370 Tn [U] producidas (2013) alcanzaron para abastecer el 92% de la demanda internacional y provinieron principalmente de Kazakstán (ex desarrollo URSS), Canadá, Australia, Níger y Namibia. Dos terceras partes de la producción mundial se concentra sistemáticamente en los tres primeros países (Kazakstán 41%; Canadá 16% y Australia 9%). La diferencia entre la oferta y la demanda se ha cubierto contra stock de inventario[6] y uranio proveniente de los acuerdos de desarme nuclear entre las grandes potencias.

Efectivamente el uranio enriquecido al 90%, así como el plutonio, puede ser re- utilizados en reactores nucleoeléctricos. En el caso del uranio al 90% mediante un proceso de *blending* con el uranio natural permitiendo llegar a un enriquecimiento del 5% (grado reactor). Y en el caso del plutonio, mediante un reprocesamiento para fabricar combustibles de óxidos mixtos.

No obstante la demanda no es linealmente comparable año tras año ya que si bien existe un aumento por cantidad de reactores en operación, también existe un decremento por mayor productividad tecnológica de las unidades en escala y grado de quemado de combustible. Mientras que desde 1980 a 2008 la energía de origen nuclear se multiplico por 3.6; las necesidades de uranio lo hicieron por solo 2.5.

En cuanto a las reservas de mineral, los recursos razonablemente asegurados sumados a las reservas de inventario deberían alcanzar para unos 50 años. Esto representa un nivel de reservas más alto que para muchos de los minerales de uso normal conocidos. Australia (29%), Kazakstán (12%) y Canadá (8%) lideran las estadísticas, dependiendo en mas o en menos según el corte utilizado como costo de producción. Y si bien el uranio se encuentra distribuido por todo el mundo,

[6] La cuantificación de los inventarios en poder de gobiernos, plantas procesamiento / reprocesamiento, y utilities no se conoce con exactitud y obedece a cuestiones comerciales y de seguridad. Se estima un stock mundial de 150,000 Tn. [U]

el 97% de los recursos identificados está en catorce naciones. En la actualidad se vive el tercer ciclo alcista[7] en las operaciones de exploración de uranio, delineado a partir de la gran cantidad de unidades en proyecto, sumado al hecho del incremento en el precio de las materias primas.

3.1.3 Proceso.

Son tres los métodos utilizados para la obtención del mineral a partir de recursos convencionales. Siguiendo las cifras de 2013: el 20% de la explotación correspondió a la minería a cielo abierto, el 27% de la producción a la explotación subterránea y el 45% al método de lixiviación in situ. El resto del porcentaje que completa el 100% corresponde a recursos no convencionales que no abordaremos ya que cada caso específico tiene su particularidad.

Estas proporciones no siempre son similares, pues depende de cómo se presente el material y, fundamentalmente, de la tecnología disponible. Así, la lixiviación in situ ha venido ganando terreno frente a la minería tradicional (a cielo abierto y/o subterráneo) pero no siempre es posible. Describamos cada caso.

El uranio se presenta normalmente en depósitos de baja ley (0.1% a 0.2%)[8] por tanto tendremos que remover mucho para obtener algo. Como en cualquier proyecto minero la idea es separar de la mena el mineral y la ganga. Los procesos de explotación a cielo abierto y minería subterránea siguen un mismo esquema. Todo comienza con una reducción de tamaño por medio de trituradoras y molinos, para luego pasar a la lixiviación con solución de ácido sulfúrico a fin de disolver los óxidos de uranio que precipitan. El mineral se seca y se obtiene el *yellow cake* con una concentración aproximada del 80% de U3O8. Al tener baja ley los residuos de la explotación (colas del mineral y estériles) son altos.

La técnica de lixiviación in situ (ISL) no extrae la mena de su lugar bajo la tierra, por tanto no hay “voladura” como en la minería a cielo abierto, ni tampoco dique de colas ni depósitos de estériles. Aquí las soluciones acidas (también las hay alcalinas) se inyectan en el corazón del depósito y luego se bombea a la superficie la solución rica en uranio. Similar a la inyección de agua para la operación de *fracking* de hidrocarburos no convencionales. Como contrapartida la ISL tiene la desventaja de la potencial contaminación de los acuíferos aledaños y/o las aguas subterráneas, menor eficiencia de proceso y es aplicable solo a depósitos de areniscas.

[7] El primer ciclo alcista tuvo lugar entre 1945 y 1958, motivado por el uso militar. El segundo ciclo se produjo entre 1974 y 1983, fundado en la demanda civil y el tercer ciclo va desde 2004 en adelante, también exclusivamente apoyado en la utilización nucleoeléctrica.

[8] Existen casos únicos de depósitos con leyes superiores al 10% (Mac Arthur River, Canadá, 20%). Pero también existen depósitos con leyes del 0.024% en explotación (BHP, Australia) ya que existen en ellos reservas por más de 2,000,000 Tn [U]

En todos los casos los riesgos potenciales más elevados asociados a estos procesos corresponden al cáncer de pulmón derivado de la inhalación de uranio o productos de su decaimiento. Por tanto debe haber estrictos protocolos de seguridad en la operación, así como en el cierre de la explotación.

3.1.4 Valor.

Los precios del uranio acompañan los ciclos de precios de las materias primas. Por supuesto que influyen los *fundamentals* como ser la productividad de las minas, la cantidad de reactores en construcción, la percepción de escases, etc. Pero todo lo que hace subir el precio, también hace que se invierta más en exploración y, como hemos señalado, el uranio es bastante común en la naturaleza; por tanto se descubren nuevos yacimientos, aumenta la oferta y el precio se equilibra. También la tecnología juega a favor mejorando a lo largo de los años la eficiencia en su utilización.

El precio spot del uranio [U3O8] cotiza hoy en día (2019) entorno a los 30 u$s/lb. Hacia finales de los años 1970 se produjeron picos en el precio spot, seguido de un largo periodo desde mediados de 1980 hasta 2004 con precios inferiores a 20 u$s/lb, en muchos casos menores aun a los costos de producción[9]. No obstante entre mediados de 2006 y mediados de 2008 no bajó de los 70 u$s/lb, con picos de 130 u$s/lb. En la actualidad presenta mayor volatilidad que en cualquier otro periodo. Pero nada hace inferir a que el precio decaiga a valores de 20 u$s/lb. De todas formas el precio spot aplica a operaciones muy marginales de día a día. Como regla el uranio se vende con contratos a futuro que tienen una prima sobre el precio spot.

Salvo la excepción de Canadá, los países con mayor producción de uranio no se concatenan con los países con mayor demanda. Por caso, EE.UU. consume cerca del 25% de la producción mundial y aporta solo el 3%. Francia consume el 15% y no aporta nada de su territorio[10].

3.1.5 Complejos minero - fabriles.

Argentina no es un país uranífero, sino un país con uranio. Entre 1955 y 1996 se explotaron 2,500 Tn [U] a partir del desarrollo de ocho complejos mineros fabriles: Don Otto (Salta), Los Gigantes (Córdoba), La Estela (San Luis), Los Colorados (La Rioja), San Rafael (Mendoza), Malargüe (Mendoza), El Tronco (Salta), Pichiñan (Chubut). Desde 1996 a la fecha, tanto el uranio natural como el enriquecido han sido importados.

La exploración de uranio en Argentina se encuentra enmarcada en la Ley Nacional de la Actividad Nuclear Nº 24.804/97, la cual dice en su Artículo 1º: " *En materia nuclear, el Estado nacional fijará*

[9] Los costos de producción dependen de en qué periodo de explotación se encuentra la mina. No es lo mismo obtener las primeras 10,000 Tn (mas barato) que las siguientes 10,000 Tn (más caro)
[10] Francia extrae desde África a través de su empresa estatal. Cuando Kazakstán formaba parte de la URSS, esta ecuación variaba. De todas formas, hoy, Rusia tiene el control.

la política y ejercerá la función de investigación y desarrollo, regulación y fiscalización a través de la CNEA…' y continúa… "*Toda actividad nuclear de índole productiva y de investigación y desarrollo, que pueda ser organizada comercialmente, será desarrollada tanto por el Estado nacional como por el sector privado*" (anteriormente el uranio era un recurso estratégico cuya explotación solo era dable por el Estado). Posteriormente, dice en su Artículo 2º que "*la Comisión Nacional de Energía Atómica… tendrá a su cargo: …"*, en el Inciso K: *"efectuar la prospección de minerales de uso nuclear"*

De esta manera se sustenta legalmente una política de Estado en la cual las tareas de exploración y evaluación de minerales nucleares se convierten así en responsabilidades indelegables y permanentes de la CNEA. Indelegables, en cuanto es responsabilidad final de la CNEA asegurar el autoabastecimiento nacional de estas materias primas, aun cuando existiere la participación de capital privado. Permanentes, en cuanto estas actividades forman parte de proyectos de largo plazo, los cuales no deben ser discontinuados ni relegados por variaciones transitorias del mercado internacional. Por otra parte no se prohíbe su exportación a terceros países, pese a contar con un potencial limitado.

En la actualidad los proyectos de Cerro Solo y Sierra Pintada tienen las mayores reservas descubiertas del país, ambos gerenciados por la CNEA.

Cerro Solo se encuentra ubicado en la cuenca del Golfo San Jorge, conocida por su riqueza en hidrocarburos. Sobre 400 pozos perforados, se han comprobado 6,000 Tn de recursos, no obstante el UDEPO[11] estima que su potencial puede llegar a las 10,000 Tn, con una ley entre 0.2% y 0.5%. Cercano a Cerro Solo, se encuentra la zona de la Meseta Central (Laguna Salada, entre otros) con areniscas ricas en uranio, donde actualmente se está estudiando la factibilidad de la explotación también mediante ISL, para hacer al recurso viable. En este sentido la CNEA tiene un proyecto de cooperación técnica con el OIEA a fin de acceder a soporte técnico para la extracción mediante ISL. La transferencia de tecnología seria desde Australia, Francia, Kazakstán y Estados Unidos. En Mendoza, Sierra Pintada, hay al menos otras 7,000 Tn de recursos según CNEA, UDEPO estima un potencial de hasta 25,000 Tn, con una ley entre 0.1% y 0.2%.

Los mencionados, sumados a otros sitios de menor cuantía, dan 20,000 Tn de uranio como razonablemente asegurados + inferidos) a un costo de producción de 130 u$s/kg como límite máximo[12]. Por otra parte las empresas privadas estiman en 11,000 Tn los mismos recursos en sus sitios de prospección; lo que da un total de 31,000 Tn de uranio.

[11] World Distribution of Uranium Deposits (UDEPO). Informe de la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA), 2015.

[12] Informadas por CNEA, 2013. Si trabajamos con costos de producción inferiores a los 80 u$s/kg los recursos bajan a 7,000 Tn. De todas formas el precio del uranio en el mercado internacional puede ser una

Del lado de la demanda, en la actualidad con tres centrales en operación, el consumo ronda las 210 / 220 Tn anuales. En su informe de 2012, la CNEA presentó las necesidades de uranio a 2030, constituyendo un escenario de mínima en 4,000 Tn; y uno de máxima en 10,000 Tn (IV, V y VI central nuclear + CAREM). Actualmente, todo esto está en revisión.

El concentrado de uranio o *yellow cake* [U3O8], sea obtenido en territorio propio o bien importado, debe ser convertido a [UO2]. Este proceso lo realiza la firma Dioxitek S.A. en Córdoba, hoy iniciando la construcción de una planta clase mundial en Formosa. Dioxitek S.A. recibe también uranio enriquecido del exterior (probablemente empiece a recibir algunos lotes de Pilcaniyeu) que son mezclados con el uranio natural, a fin de producir lotes al 0.85% de enriquecimiento, que constituye el elemento combustible de Atucha.

Los conflictos sociales son el principal limitante entorno al desarrollo de la actividad. Como veremos más adelante, las provincias de Mendoza y Chubut prohíben la explotación a cielo abierto; y en el caso específico de Mendoza hace referencia explícita a la proscripción de la minería de uranio; agregando por si aún queda alguna duda, también a la negativa al método de lixiviación mediante ácidos.

De no mediar acuerdo social basado en la coherencia técnica y en la sustentabilidad económica y por supuesto ambiental, seguiremos dependiendo de las importaciones.

3.1.6 Minería a cielo abierto y zonas no nucleares.

Argentina ha sido un país inexplorado. El estado nacional ha sido históricamente el responsable esta actividad, habiendo relevado en 200 años menos del 15% del territorio. No obstante siempre se ha sabido de la importancia del potencial minero. El problema siempre fue de recursos; ya que las formaciones se presentaban en lugares entre inhóspitos e inaccesibles. Hacia 1989, solo había cuatro empresas privadas; las exportaciones de mineral eran inexistentes y fundamentalmente se extraían rocas de aplicación, mármoles y bórax.

No es hasta la última década del siglo pasado que Argentina comienza un desarrollo minero significativo. Una batería de leyes mineras sancionadas a partir de 1993 posibilita el desembarco de empresas extranjeras, con presupuestos muchas veces superiores a los de las propias provincias dando lugar a un importante incremento de la inversión extranjera directa y de las exportaciones de minerales. Oro, plata, cobre, litio y potasio cobran protagonismo.

referencia, pero no un determinante, teniendo en cuenta que el costo de la materia prima es del orden del 5% del costo de la energía.

En los últimos 25 años la actividad minera ha decuplicado cualquier ratio de evaluación; producción, inversiones, cantidad de proyectos, cantidad de empresas, exportaciones, empleo directo, empleo indirecto, impuestos ingresados al fisco, todo ha tenido un crecimiento exponencial. En 2014, el valor de las exportaciones argentinas a precios corrientes totalizó los 71,935 Mu$s; de ellos 3,905 Mu$s correspondieron al sector minero. Valor muy importante para nuestra economía si tenemos en cuenta que: 1) en 2014 las materias primas tuvieron un descenso cercano al 10% en precio, 2) varios de los mayores proyectos de Argentina se encuentran en su curva descendente de producción y 3) varios de los proyectos futuros esperan señales políticas y económicas para su lanzamiento.

Como contrapartida de esta nueva realidad han aparecido numerosos grupos activos con preocupaciones ambientales referentes a las técnicas de explotación de los recursos. Preocupaciones muchas veces fundadas, pero muchas otras acompañadas de connotaciones políticas, económicas y de intereses particulares, que han paralizado el desarrollo minero.

Este trabajo escapa a la justificación de las demandas tanto de actores privados, estatales, no gubernamentales, y/o de los grupos opositores. Lo cierto es que Argentina es el sexto país en potencial de recursos mineros del mundo y la sociedad actual no se concibe sin el uso y transformación de los minerales presentes en la naturaleza. No extraerlos implica desperdiciar un recurso esencial y usar divisas para traerlos de otra parte de mundo, pues nadie quiere renunciar a los beneficios de la vida moderna. Explotarlos de manera responsable y sustentable es el desafío.

Bajo este escenario hubo siete provincias que prohibieron la minería a cielo abierto: Mendoza, Chubut, Tucumán, Córdoba, San Luis, La Pampa y Tierra del Fuego.

En nuestro caso de estudio, el uranio, las dos primeras son las más importantes pues tienen las principales reservas conocidas[13], cuya única técnica de explotación actual posible es a cielo abierto. Por tanto la Nación se ve privada del recurso. Aún más, hay ciertas localidades e incluso provincias que se han declarado zonas no nucleares[14] y que impiden la actividad, pero que desean seguir obteniendo sus beneficios, como la energía[15] y la medicina.

[13] Mendoza, yacimiento Sierra Pintada, Ley Provincial 7722. Chubut, yacimiento Cerro Solo, Ley Provincial 5001.
[14] Se puede consultar una ampliación al debate en: Ciallella, Norberto; “Las zonas no nucleares”, CNEA, 4° Congreso Argentino de Radio protección”, 1993.
[15] Como ejemplo de contradicción, Italia cerró su última central nuclear en 1990. Hoy es un importador neto de energía; principalmente de Francia. País donde el mas del 70% de la generación es de origen nuclear. Se estima que el Estado paga un 35% más por la energía que dejo de producir y necesita consumir. Turín, se encuentra a menos de 100 km. de las centrales nucleares francesas.

¿Debe primar el interés nacional sobre una ley provincial? Y en el caso de esta última, ¿puede sobreponerse a los mecanismos de consulta popular, de naturaleza vinculante? ¿Qué pasa si la comunidad local de Cerro Solo decide dar avance al proyecto?

El debate está dado. Los pormenores y la naturaleza de la política no escapan a la discusión.

3.1.7 Proyecto de Restitución a la Minería de Uranio.

Sobre el PRAMU. Como se mencionó, Argentina extrajo entre 1955 y 1996 alrededor de 2,500 Tn de uranio a partir del desarrollo de los complejos mineros citados. 75% con técnica a cielo abierto.

En el año 2003 la CNEA presentó al poder legislativo su programa de gestión de residuos radioactivos (en cumplimiento de la Ley 25018) e informó su plan para gestionar los pasivos ambientales constituidos con anterioridad. A este plan se lo denomino Proyecto de Restitución de la Minería de Uranio (PRAMU). Su objetivo declarado: restituir al ambiente tanto como sea posible en términos razonables económicos y técnicos para proteger a las generaciones presentes y futuras. Su alcance, los sitios de: Ciudad de Córdoba y Los Gigantes (Córdoba), Huemul (Mendoza), La Estela (San Luis), Tonco (Salta), Los Colorados (La Rioja), Pichiñan (Chubut) y el complejo fabril Malargüe (Mendoza).

Este último es el único que cuenta con una solución definitiva ya en ejecución, por medio del encapsulamiento de las colas y estériles de mineral. El encapsulado se construye con materiales naturales de la zona, se comienza compactando el piso natural, el cual es seguido por una capa de grava, una de suelo arenoso y la colocación de una capa de arcilla compactada. Las colas de mineral se asientan sobre esa capa, se neutralizan con cal y se compactan. Luego se recubren con una cubierta multicapa para finalmente construir un enrocado que permita aislarlas totalmente ambiente. La obra de ingeniería garantiza la sequedad, estanqueidad y resistencia estructural a largo plazo, incluso a factores externos como nevadas, vientos lluvias, terremotos, inundaciones o intrusión de raíces arbustivas o animales cavadores.

Cabe aclarar que a esta instancia se llegó luego de un largo litigio con la provincia de Mendoza, y por intermedio de un préstamo otorgado por el Banco Mundial. Si bien se encuentra bien avanzado, aún no está concluido.

En los otros sitios del PRAMU se están estudiando las opciones más convenientes. En todos ellos, inclusive en Malargüe se realizan programas de control y monitoreo ambiental supervisados por la ARN.

En el PRAMU no se encuentra el distrito Sierra pintada ni el complejo fabril San Rafael, pese a que la justicia ha ordenado su remediación. Lo cierto es que de Sierra Pintada ha sido el sitio

estrella de la minería de uranio vernácula, habiéndose extraído de allí más de la mitad de las toneladas de uranio producidas en el país. Pero no solo eso, Sierra Pintada guarda hoy las reservas comprobadas de mineral más importantes descubiertas; por tanto el yacimiento y la planta fabril de San Rafael se encuentran detenidos, pero no cerrados definitivamente.

Fig. 4.7. Minerales de uranio. Fuente: documento fotográfico del autor. Gentileza: CNEA.

Fig. 4.8. Minerales de uranio. Fuente: documento fotográfico del autor. Gentileza: CNEA.

3.2. Producción de dióxido de uranio

El concentrado de uranio obtenido debe ser purificado y tratado con anterioridad a su uso comercial.

El dióxido de uranio (UO2), materia prima básica para la fabricación de los combustibles nucleares, es un material capaz de producir elementos de características cerámicas, es decir, apto para ser compactado en forma de pastillas y sinterizado por tratamiento térmico bajo atmósfera controlada mediante dos etapas: una primera fase de purificación nuclear y una segunda de conversión a UO2.

Respecto a la pureza nuclear, ésta se alcanza a partir del tratamiento de concentrados comerciales de uranio (yellow cake) que, luego de haber sido disueltos y haberles eliminado la mayor parte de las impurezas, son transformados en uranil carbonato de amonio (AUC). Este último es un producto cristalino de elevada pureza, apto para la conversión directa a UO2 que, por compactado directo, permite la obtención de unas pastillas (pellets) que, al ser sinterizadas, adquieren la densidad necesaria para ser utilizadas como combustible nuclear. El AUC es

susceptible de ser obtenido a partir de dos materias primas definidas, siguiendo para ello el Complejo Fabril Córdoba (CFC) dos caminos bien diferenciados entre sí: 1) a partir de una solución de nitrato de uranilo (UNH); y 2) partiendo de un medio orgánico amina terciaria en querosene; línea conocida como AUTC (ammoium urannyl tri carbonate).

Cabe mencionar aquí que, desde el año 1954, el CFC ha producido diversos compuestos de pureza nuclear, desarrollando ambas líneas de purificación y registrando incluso la segunda de ellas como patente de la CNEA. En tanto, fue recién a principios de la década del '70 que se iniciaron allí actividades a nivel de planta piloto y semi-industrial. Y fue a principios de 1980 que el Complejo resolvió integrar una planta de producción de UO2 sobre la base del proceso de solución de nitrato de uranilo, con capacidad suficiente 150Tn U/año para el abastecimiento de las centrales nucleares Atucha I y Embalse, planta que fue comprada a la firma Reaktor Brennelement Union (RBU), de la ex Alemania Federal.

Simultáneamente, a nivel nacional, se desarrollaba la línea AUTC con tecnología autónoma. La ingeniería de base del proyecto integrado fue concebida por el Departamento de Ingeniería de Plantas de la Dirección de Suministros Nucleares de la CNEA, mientras que la investigación básica a nivel de especificaciones para las contrataciones y de ingeniería de detalle fue realizada por Nuclear Mendoza S.E. y la dirección técnica incorporada por la CNEA.

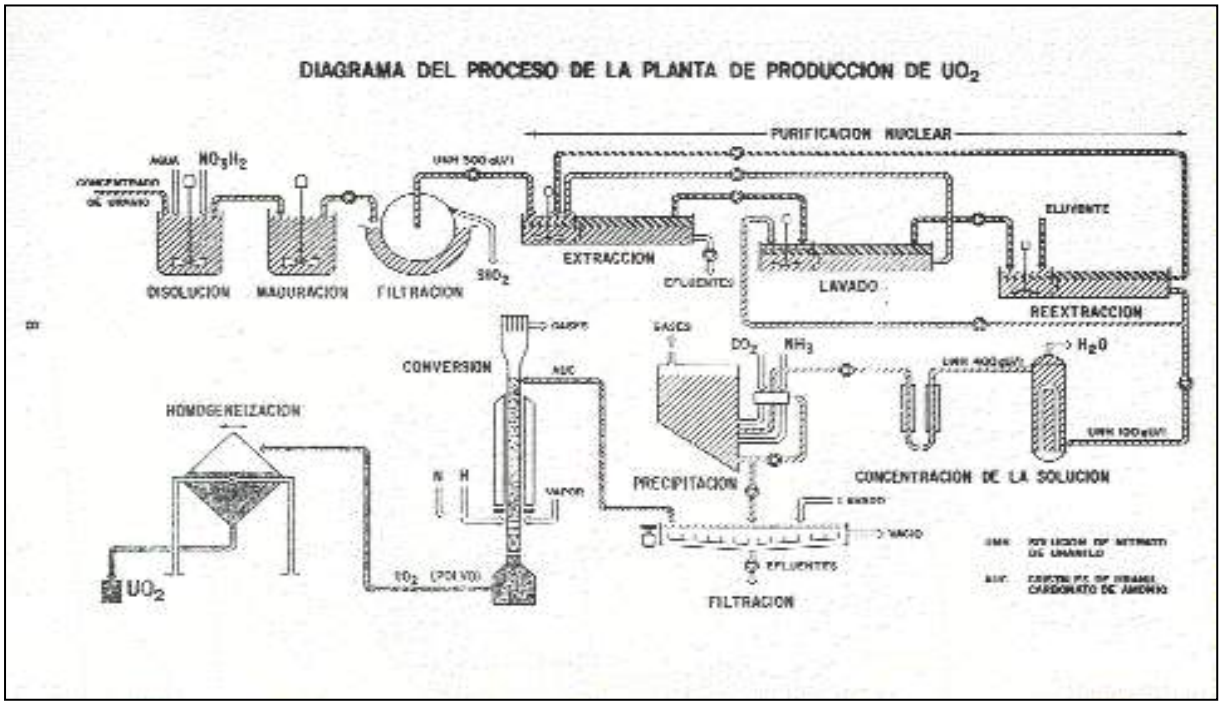


Fig. 4.9. Línea de producción de Dióxido de Uranio en Córdoba. Fuente: CNEA

El *layout* comprende un sector independiente para disolución nítrica del concentrado y maduración de la sílice. Podemos ver también un sector de purificación nuclear al que ingresa la solución de nitrato de uranilo impura y del que sale la concentración de 100g U/litro, y un edificio principal donde la solución es concentrada a 400g U/litro y que asimismo admite la instalación de un eventual segundo módulo de conversión con una capacidad similar al existente. Se muestran luego sucesivamente unidades de cristalización, filtración y conversión a UO2 que homogenizan el producto.

En la última década, la planta de Córdoba afrontó la presión de la comunidad local que buscaba su re-localización. Así surgieron numerosos juicios y amparos que terminaron en una clausura de 32 meses; finalmente levantada en 2007. En respuesta al pedido de la comunidad, la CNEA elaboró un proyecto para construir de cero una nueva planta industrial, ubicada en la provincia de Formosa. Y si bien Córdoba debería haber cerrado en diciembre de 2018; se supone que continuará operando hasta 2020.

3.3. Proyecto Nueva Planta de Uranio (NPU). Dioxitek S.A. Formosa.

- Planta procesadora de dióxido de uranio (U3O8 a UO2)
- De Córdoba (1982, barrio Alta Córdoba) a Formosa (Polo científico, 16 km de la ciudad).
- Dos módulos de producción de 230 Tn c/u. Tecnología clase mundial. Totalmente nuevo.
- Obra civil, iniciada (2015).
- Inversión a la fecha: 177 MMu$s (2018)
- Avance físico (2018): 50%
- Se estudia incorporar capital privado mediante la venta del 51% de las acciones.

Fig. 4.10. Boceto final del proyecto Formosa.
Gentileza: DIOXITEK S.A.

Fig. 4.11. Vista aérea a mediados de 2018.
Gentileza: DIOXITEK S.A.

En conclusión, Argentina es uno de los pocos países no industrializados que poseen la capacidad de diseñar y producir combustibles nucleares a escala industrial así como de proyectar y construir las instalaciones fabriles necesarias a tal fin. Este ha sido uno de los principales objetivos del Plan Nuclear Argentino, emanado de la estimación de los perjuicios derivados de la carencia de tal capacidad junto a la consecuente supeditación del abastecimiento de combustible nuclear del país a las importaciones, en una época en la cual la dependencia energética constituye una seria debilidad estratégica con nocivos efectos sobre la soberanía estatal. Así, la ansiada autosuficiencia nacional en materia de combustibles nucleares ha sido el resultado de tres décadas de intenso trabajo no sólo en el área de perfeccionamiento de la tecnología industrial, sino también en materias como la física, la metalurgia, y la exploración y explotación de yacimientos de uranio. De modo que, con la planta de producción de UO2 se ha alcanzado finalmente a nivel industrial el total dominio del ciclo de combustible nuclear en Argentina así como la capacidad de fabricación en el país.

3.4. Fabricación de elementos combustibles.

Los primeros elementos combustibles nucleares fabricados en nuestro país fueron utilizados en el RA-1, un pequeño reactor de experimentación y entrenamiento construido por profesionales y técnicos de la CNEA, que había entrado en operación en 1958. En seguida se daría otro paso decisivo cuando, a comienzos de la década del ‘60, se emprendiera el diseño y la construcción de los elementos combustibles para el RA-3 que, desde 1965, se encuentra en operación. Dicho reactor tiene una potencia de 5MW y, actualmente, es utilizado en el Centro Atómico Ezeiza principalmente para la producción de radioisótopos.

Así las cosas, al firmarse en 1967 el contrato para la instalación de la Central Nuclear Atucha, Argentina poseía ya una importante experiencia acumulada en materia de fabricación de combustible nuclear, apoyada por una sólida base en metalurgia. Ello permitió que, si bien el diseño original del combustible de Atucha I y su fabricación fueron realizados en Alemania, especialistas de la CNEA participaran desde el comienzo en ese programa. En línea con lo antedicho, hacia 1970 se construyó en el país, con resultados altamente satisfactorios, el primer prototipo de elemento combustible nuclear tipo Atucha I, con la participación de la CNEA y de empresas del sector privado. Cabe resaltar que esta central, que entraría finalmente en operación en 1974, es considerada una de las más eficientes y seguras del mundo entre las de su tipo.

Toda esta experiencia allanó el terreno para que, en 1976, se iniciaran los proyectos de la Fábrica de Elementos Combustibles Nucleares y de la Planta Piloto del Centro Atómico Constituyentes, en la que ese mismo año fue posible emprender, sin necesidad de apelar a la ayuda externa, el desarrollo de una tecnología argentina de fabricación de combustible nuclear. En una primera etapa, se produjeron 25 elementos combustibles en tres series sucesivas, a través de las cuales el grado de integración nacional fue aumentando de modo progresivo, al tiempo que se fueron

perfeccionando, en forma unitaria, las diferentes operaciones de fabricación. Luego de que culminara esta fase, con una serie de 12 elementos combustibles “de demostración”, se inició la segunda etapa del desarrollo, que consistió en la fabricación de 218 elementos combustibles pero ahora procurando alcanzar, como resultado final, un ritmo de producción análoga al de una planta industrial. El programa finalizó con éxito a mediados de 1981, cuando la Planta Piloto alcanzó un ritmo de producción de 1,5 elementos combustibles por día de trabajo.

Los elementos producidos en esta serie de “inicio de operación” fueron utilizados en la Central Nuclear Atucha I, demostrando un excelente comportamiento, al tiempo que la tecnología de fabricación desarrollada por la Planta Piloto, junto con importantes equipos y recursos humanos de alto grado de capacitación, han sido incorporados a la Fábrica de Elementos Combustibles Nucleares.

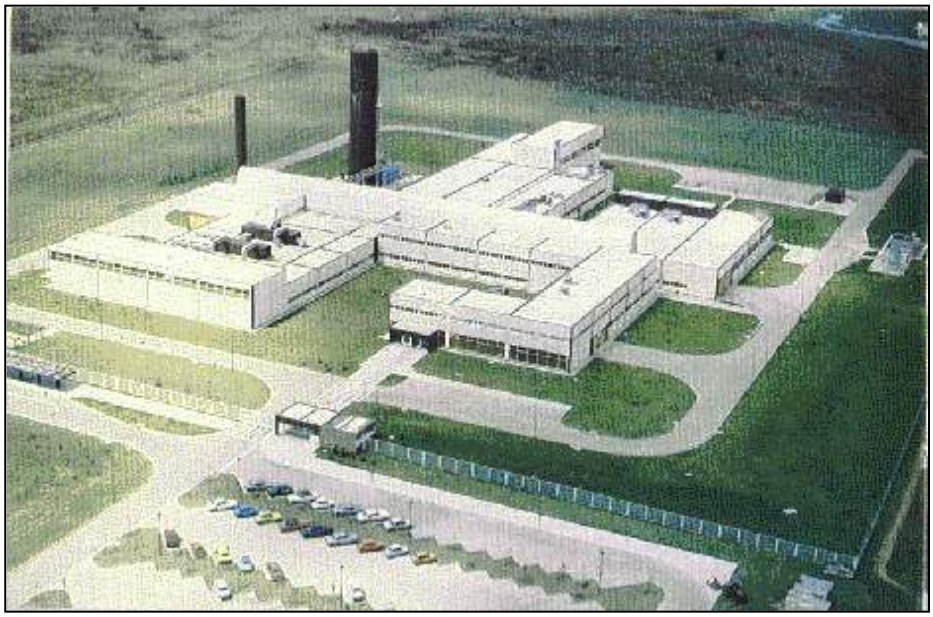


Fig. 4.12. Vista aérea FECN

¿En qué consiste un elemento combustible nuclear? ¿Cómo funciona? Así como en una caldera convencional un combustible -gas, carbón o petróleo- se quema y genera calor mediante un proceso químico, un reactor nuclear es un tipo de caldera en el que el calor es generado por un proceso físico -la fisión nuclear- en el que núcleos atómicos de uranio se dividen por el impacto de un neutrón. El núcleo de un reactor está formado por los llamados elementos combustibles y se mantiene sumergido en agua a presión con dos objetivos: extraer el calor producido por el núcleo y reducir la energía de los neutrones a fin de asegurar que la reacción en cadena no se extinga.

El núcleo de la Central Nuclear Atucha I contiene 253 elementos combustibles, cada uno de los cuales está a su vez conformado por un manojo de 36 barras de combustible y una de soporte. Las barras de combustible son tubos de una aleación especial denominada zircaloy,

herméticamente cerrados, que contienen el uranio bajo la forma de pastillas de dióxido. Dichos tubos miden 5,5m de largo y tienen un diámetro aproximado de un 1cm, mientras que cada elemento combustible pesa 210kg, de los cuales 173kg corresponden al dióxido de uranio y el resto al zircaloy y a aceros especiales que se utilizan en las partes estructurales del elemento. El uranio es cerrado en forma hermética en las barras de zircaloy para impedir que los productos de la fisión nuclear contaminen el agua del reactor y evitar también que ésta reaccione químicamente con el uranio.

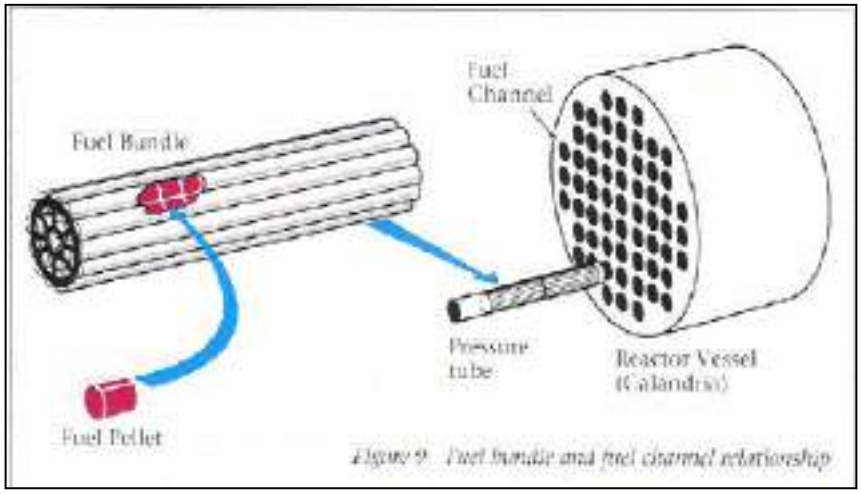
En un reactor tipo Embalse, en cambio, los elementos combustibles miden apenas 50cm de largo, aunque en los demás aspectos presentan características muy similares a los de Atucha.

Fig. 4.13. El uranio en forma de pellet es encerrado en vainas metálicas.

Al conjunto de vainas metálicas se lo denomina elemento combustible.

El elemento combustible es confinado en el reactor, verdadero núcleo de la central eléctrica.

Fuente: Atomic Energy of Canada Ltd.



Los elementos combustibles de Atucha II son muy similares a los de Atucha I, pero son 451 en vez de 253; y contienen 85 Tn. de uranio en su interior.

3.5. El Zircaloy y la FAE S.A.

Como hemos referido en el apartado anterior, el zircaloy es una aleación con base de circonio empleada para fabricar los tubos y otros accesorios que constituyen los elementos combustibles que abastecen a las centrales nucleares argentinas. Para producir este material, la CNEA desarrolló una planta piloto de fabricación de esponja de circonio y luego, basándose en la experiencia adquirida, emprendió la construcción, en el Centro Atómico Ezeiza (CAE), de una planta de producción a escala industrial llamada Fábrica de Aleaciones Especiales (F.A.E. S.A.). Los objetivos perseguidos por la FAE han sido siempre: garantizar el dominio completo de la tecnología de producción de los tubos y semiterminados de zircaloy requeridos para la fabricación de los elementos combustibles nucleares y desarrollar productos que permitan competir en el mercado internacional.

En la actualidad FAE produce y exporta tubos de alloy 800 para generadores de vapor; tubos de titanio para la industria aeroespacial y varias aleaciones de niquel y circonio. Sus principales mercados son: Estados Unidos, Canadá, España, Francia, Italia y Alemania.

En el plano doméstico, los últimos años han sido de nutrida actividad. En primer lugar, FAE ha provisto los tubos de presión para el proyecto de extensión de vida de la central de Embalse. El tubo de presión es el componente más exigido durante la operación de las centrales CANDU, ya que en su interior se encuentran los canales combustibles en los que se produce el proceso de fisión. Durante su vida útil, el reactor debe operar a temperaturas de entre 250 y 300 grados centígrados, soportar 100 atmósferas de presión interna y estar constantemente sometido al flujo neutrónico producto de la fisión del uranio.

El desafío del Departamento de Tecnología de Aleaciones de Circonio fue, justamente, desarrollar este componente con la misma calidad que los originales, que fueron fabricados por la empresa canadiense AECL (Atomic Energy of Canada Ltd).

En segundo lugar FAE tiene un contrato con la CNEA para el desarrollo y suministro de tubos para los generadores de vapor del CAREM (Central Argentina de Elementos Modulares). Esto supuso importantes inversiones como la puesta en marcha del nuevo horno de tratamiento térmico de alto vacío, para la fabricación de los tubos de Inconel 690 de los generadores de vapor del CAREM.

Este equipamiento es el más largo del mundo y puede tratar térmicamente tubos rectos de hasta 37 metros a temperaturas entre 500 y 850°C. La cámara, de 1275 mm de diámetro, es de acero inoxidable y está rodeada por un conjunto de resistencias calefactoras divididas en 18 zonas, cada una de las cuales posee un sistema de control independiente para garantizar la uniformidad de temperatura.

Adicional de las vainas para los elementos combustibles de Atucha I, Atucha II y Embalse; FAE ha diseñado y finalizado la entrega[16] de la totalidad de las vainas para los elementos combustibles del reactor SMR argentino.

3.6. El proceso de fabricación y CONUAR S.A.

La Fábrica de Elementos Combustibles Nucleares (FECN) produce, a partir de los tubos y piezas estructurales de zircaloy y del dióxido de uranio en polvo, los referidos elementos combustibles. Este proceso de fabricación integra dos grandes ramales convergentes, uno de los cuales corresponde a la producción de las pastillas de combustible.

[16] Fines de 2017.

El uranio arriba a la planta bajo la forma de un polvo de pureza nuclear y de propiedades físicas que lo hacen comportarse como un fluido. Este polvo es compactado en piezas de 1cm diámetro y 1cm de alto por una prensa pastilladora, cuya capacidad de producción es de 5.000 pastillas por hora. Éstas son luego sometidas a un proceso térmico en un horno continuo a 1.750°C de temperatura y atmósfera de hidrógeno. Posteriormente, las pastillas así "cocidas" son pulidas en una rectificadora sin centro que les da la dimensión exacta que el diseño del combustible exige y que debe ser respetada con extrema precisión.

En paralelo a estas operaciones, se realiza el maquinado de las vainas de zircaloy y de las demás partes estructurales, proceso en el que la precisión de las operaciones debe ser también sumamente alta, motivo por el cual el control de calidad insume incluso más esfuerzo que la fabricación misma de las piezas.

Tras una serie de operaciones de acondicionamiento y de la soldadura del primer tapón, se procede al llenado de las vainas de combustible con las pastillas de dióxido para formar las barras. Completada esta operación y soldado el segundo tapón, se produce el montaje de los elementos. Finalmente, el elemento combustible terminado es embalado en un tubo de acero y despachado a la Central Nuclear que ha de utilizarlo.

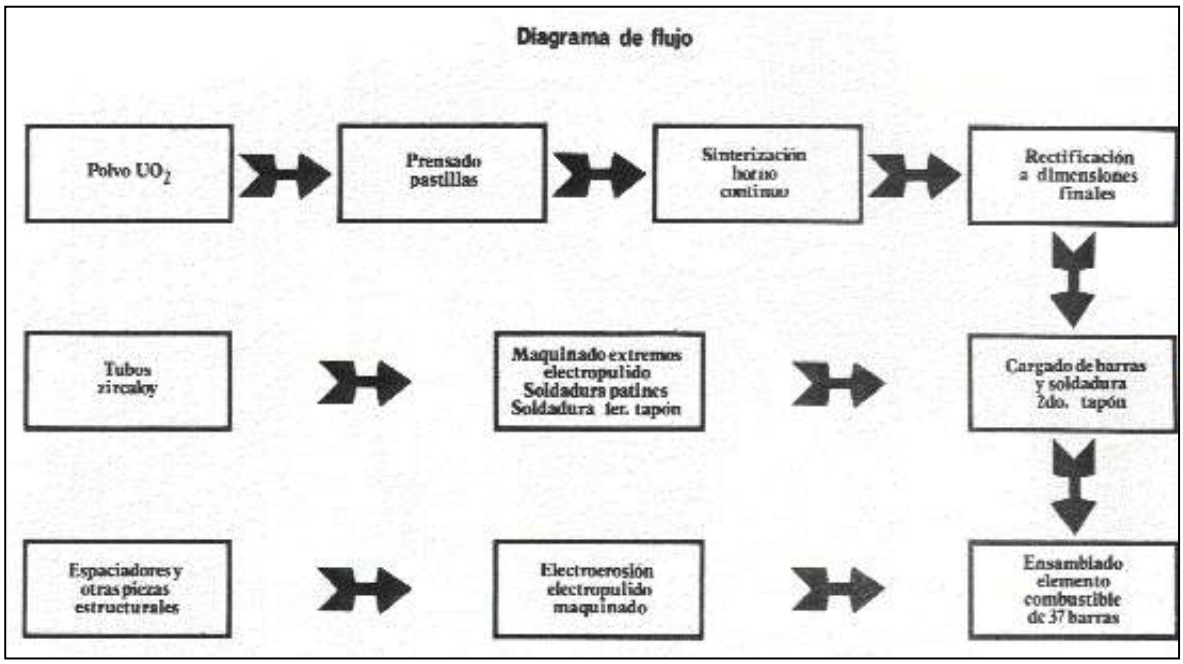


Fig. 4.14. Esquema de producción de una barra de elemento combustible para una central nuclear. Fuente: CNEA

La FECN, primera en su tipo en América Latina, fue proyectada por la CNEA sobre la base del proceso de producción y la ingeniería por ella desarrollados. Diseñada y construida por argentinos, esta fábrica utiliza un proceso de producción desarrollado en el país y es operada por CONUAR

S.A., una sociedad mixta de mayoría privada, bajo contrato de la CNEA. Cabe destacar también que las rigurosas exigencias impuestas sobre la fabricación de combustible, tanto en lo referente a la garantía de calidad como a las consideraciones de seguridad bajo las cuales debe ser llevada a cabo, hacen que el proyecto, construcción y puesta en marcha de una planta semejante resulte un verdadero desafío. En este sentido, una característica que contribuye a hacer de éste un edificio excepcional es la enorme importancia que en él tienen los servicios de apoyo: energía eléctrica, aire acondicionado, agua de procesos, purificación de efluentes. Por una parte, las exigencias de limpieza en el proceso son altísimas. Por otra, el uso de materiales tóxicos o radiactivos (como el berilio, utilizado en procesos de soldadura, y el uranio) requiere la instalación, en determinados sectores, de sistemas de filtrado de aire de alta eficiencia, recintos de atmósfera en depresión para evitar escapes fuera del edificio, pisos des-contaminables de material epoxi, etcétera.

La FECN, situada en el Centro Atómico Ezeiza de la Comisión Nacional de Energía Atómica, posee una superficie cubierta de 11.600m² y está preparada para producir el combustible que utilizan las centrales nucleares argentinas, actuales (PHWR) y futuras (CAREM). Tomando en cuenta Atucha I, Embalse y Atucha II, su producción de combustible nuclear permite generar 11.500 millones de kilovatios hora de energía eléctrica neta por año. Para ello, requiere 320Tn anuales de uranio y 55Tn de zircaloy, el material estructural de los elementos combustibles. Desde el inicio de sus operaciones y hasta cierre del ejercicio 2017, CONUAR S.A. entregó un total acumulado de 3.889 elementos combustibles para la central de Atucha I; 5.740 elementos combustibles para la central de Atucha II; 127.582 elementos combustibles para la central de Embalse y 130 elementos combustibles para el proyecto CAREM.

CONUAR se ha convertido en el único fabricante a nivel mundial calificado para la producción simultánea de los componentes contratados por NA-SA para el proyecto de extensión de vida de Embalse. En función a ello ha desarrollado ingeniería, procesos y equipos que lo posicionan para la fabricación de la totalidad de los componentes de los canales de combustibles de un reactor CANDU y de los intercambiadores de calor. Desde 2016 es miembro permanente de la Organization of Canadian Nuclear Industries (OCNI).

Adicionalmente NA-SA le contrató a CONUAR la obra del “Almacenamiento en Seco de Elementos Combustibles Quemados” (ASECQ), que tiene por objeto la fabricación, provisión, pruebas de aceptación, ensayo y entrega en la obra de las unidades de silo, unidades de almacenamiento, insertos metálicos de techo y tapas para las unidades de silos.

A su vez también tiene el desarrollo de los generadores de vapor para el reactor CAREM.

Actualmente, CONUAR S.A. y FAE S.A. se encuentran en un proceso de fusión por absorción. Entre las principales ventajas derivadas podemos enumerar: 1) la fusión por absorción resuelve las limitaciones al crecimiento de FAE, ya que a raíz de su envergadura, se encuentra limitada para obtener financiamiento bancario adicional. A su vez, con un nivel de capitalización mayor,

puede expandir el horizonte de sus cotizaciones internacionales. 2) la fusión por absorción permite potenciar las actividades de ambas empresas, ampliando sus mercados internacionales, a los rubros de generadores de vapor y componentes aeronáuticos. 3) la fusión por absorción permite el ahorro de gastos operativos por operaciones *inter-company*; honorarios de directorio y auditoría, entre otros.

3.7. Circuito experimental de alta presión

Teniendo en cuenta que el Plan Nuclear de 1979 establecía como meta alcanzar la capacidad nacional de diseñar y construir centrales nucleares, se realizó un convenio de cooperación con la entonces República Federal Alemana a fin de contar con la capacidad de garantizar condiciones de calidad y seguridad en los componentes del circuito primario del reactor y en los elementos combustibles. Este convenio fue consecuencia de la adjudicación de Atucha I al país germánico y proveyó de ingeniería básica a través del prestigioso Centro de Investigaciones Nucleares de Karlsruhe, así como suministros de instrumentación y control de procesos para la planta de ensayos.

El circuito experimental de alta presión ubicado en el Centro Atómico Ezeiza reproduce las condiciones de operación de un reactor de potencia. Al ser la temperatura, la presión y el flujo de agua idénticos, permite ensayar los componentes aunque en él no haya fisión ni, por consiguiente, flujo de neutrones. Elementos combustibles, bombas, válvulas, sellos y demás partes son sometidos a condiciones de operación y deben, aun así, responder sin fallas, asegurando que el núcleo del reactor se mantenga adecuadamente refrigerado.

Entre la compleja distribución de equipos, cabe mencionar el circuito de bombas principales que, además de impulsar el agua con un caudal de 200m³/h, eleva la temperatura a 300°C. Por otra parte, un presurizador permite generar una presión de hasta 100bar mediante calefactores eléctricos de 72Kv de potencia nominal. Condiciones éstas idénticas a la operación del reactor, precisamente debido a que los equipos son también análogos a los operativos en la central.

Esta instalación ha colocado a la Argentina a la cabeza de América Latina en cuanto a ingeniería de combustibles nucleares respecta al permitir la simulación de procesos termo-hidráulicos y mecánicos, adquiriendo experiencia en la ingeniería básica de diseño.

Durante los últimos años se ensayaron lo elementos combustibles para la media vida de Embalse y, fundamentalmente, para todo el desarrollo del elemento combustible tipo CAREM.

3.8. Enriquecimiento

Este proyecto, cuyo principal asiento se encuentra en la zona de Pilcaniyeu, fue impulsado como consecuencia de la interrupción del suministro de uranio enriquecido que sufriera Argentina en

1978[17], hecho que a su vez obstaculizaba el normal funcionamiento de sus reactores experimentales.

Si bien la CNEA había desarrollado la tecnología de fabricación de sus elementos combustibles (EE.CC.) con el objeto de reducir el grado de enriquecimiento del 90%, con el que normalmente operaban, al 20%, lo que constituyó un trascendental logro internacional, la denegatoria de suministrar uranio aún a este bajo nivel de enriquecimiento no sólo hacía peligrar la operatividad del reactor RA3 ubicado en el Centro Atómico Ezeiza, que produce el 90% de los radioisótopos utilizados en el país con diversos fines médicos, y del RA6 ubicado en el Centro Atómico Bariloche, diseñado y construido con fines de investigación y docencia; sino que constituía asimismo una debilidad competitiva esencial para la explotación de centros nucleares experimentales.

Así ocurrió con Perú (cliente de la CNEA), quién -irónicamente- debió acudir a un suministrador europeo para el enriquecimiento de los EE.CC. de un reactor de diseño argentino estando la CNEA, como dijimos, desarrollando con éxito la tecnología de su fabricación al sólo 20% de enriquecimiento, según la imposición de las nuevas reglamentaciones internacionales.

De cara a esta situación se presentaban dos alternativas: comprar uranio al 20% en el exterior o lanzar un proyecto de desarrollo propio. En ambos casos, estaba latente la posibilidad de tener que afrontar ciertas complicaciones. En este sentido, el primer camino adolecía, además de la incertidumbre asociada a conseguir un proveedor, y a la falta de seguridad respecto a la permanencia del suministro.

La segunda alternativa, por su parte, constituía un claro riesgo tecnológico. Se optó entonces, dada la gran importancia de obtener un abastecimiento crítico y a modo de política de cobertura, por seguir ambas vías en simultáneo. A su vez, en relación al riesgo tecnológico -y por ende económico-, se adoptó la política de avanzar por etapas, ampliando las inversiones sólo cuando quedaba demostrado que las posibilidades eran ciertas y, en la etapa de planta piloto, a medida que los diferentes componentes de los sistemas iban demostrando su operatividad.

Quedaba claro que al promover el desarrollo nacional, se dispondría de herramientas propias que, insistimos, le permitirían al país evitar encontrarse frente a determinadas situaciones conflictivas derivadas de la dependencia externa. Tanto la simple denegatoria de un proveedor externo, como tal vez la de un ocasional competidor; para suministrar los EE.CC. podrían dar por fracasada la exportación de un centro nuclear.

[17] El congreso de EE.UU. aprobó la Ley de No Proliferación luego de la detonación de un artefacto nuclear por India en 1974. Así, Argentina no contaría con la provisión de uranio enriquecido para el reactor que le estaba proveyendo a Perú; ni para su uso interno para fabricar radioisótopos medicinales e industriales.

Naturalmente, que el dominio de la tecnología del enriquecimiento potenciaba a la industria, al tiempo que la provisión de centrales nucleares, el suministro de sus combustibles y la provisión de grandes componentes ya desarrollados o en desarrollo en el país implican actividades industriales de alto valor agregado en tecnologías de punta. Exportaciones absolutamente no tradicionales del país, que promueven su desenvolvimiento industrial.

Ciertamente, todo lo expuesto debía ser desarrollado en una armónica realización conjunta con los países recipiendarios y disponiendo de las indispensables transferencias de tecnología y la continua formación de recursos humanos. Siguiendo este camino, Argentina adquiriría un peso geopolítico de indudable gravitación en la formulación y logro de sus políticas regionales.

Dadas las crecientes limitaciones impuestas por el Club de Londres (recordemos que era el organismo que nucleaba a los países exportadores de tecnología nuclear) a la transferencia de tecnología, no cabían dudas que, de hacerse público el proyecto, sobrevendrían las presiones para que se desistiera de su continuación. En consecuencia, a priori, su éxito dependía también de la preservación del secreto de su existencia, mas esta idea del manto de secreto entraba en tensión con la necesidad de obtener cierto consenso social respecto al proyecto. En este sentido, la central de Embalse en construcción colocaba a la Argentina en una posición de vulnerabilidad, ya que cualquier demora adicional en su finalización acarrearía serias consecuencias económicas y sobre el abastecimiento eléctrico, a la vez que alimentaría el descrédito de algunos sectores de la sociedad sobre la factibilidad de este complejo emprendimiento. Se adoptó entonces un modus operandi consistente en dar a conocer la existencia del proyecto sólo a aquellas personas a quienes se iba considerando resultaban indispensables para su ejecución. Por tal motivo, muchos de los responsables de las múltiples tareas puestas en marcha desconocían el objetivo de las mismas mientras que, por su parte, aquellos a los que se les había impuesto el silencio ignoraban quiénes eran las otras personas que estaban al tanto del secreto en cuestión a fin de evitar potenciales conversaciones sobre el tema. En el orden nacional, la CNEA informó acerca de las posibilidades de alcanzar esta capacidad solamente al presidente de la Nación, a quién sucesivamente se le solicitó la correspondiente autorización y se le comunicó la necesidad de adoptar las mismas precauciones en cuanto al secreto.

No obstante, la determinación de mantener en reserva la existencia del proyecto conllevaba un serio riesgo ya que, en caso que fuese develado, sería muy difícil convencer a la sociedad de que únicamente se perseguían objetivos pacíficos, al tiempo que se reforzarían las sospechas, publicadas frecuentemente en la prensa internacional, sobre el supuesto de que Argentina estaba desarrollando un explosivo nuclear. Todo ello importaría un profundo deterioro en el valor de nuestras declaraciones en los distintos foros internacionales y resentiría la asistencia técnica que el país estaba recibiendo del exterior, indispensable para la continuación del plan nuclear.

El primer informe de la DDG (Unidad de Demostración por Difusión Gaseosa) fue redactado en junio de 1978 y concuia que la tecnología de difusión gaseosa estaba al alcance de la tecnología nacional. En cambio no había capacidad desarrollada para el diseño de las ultracentrífugas. Este último sería el camino que las naciones productoras a escala comercial, adoptaron. El informe agregaba que el proyecto se dividiría en tres etapas. La primera con una cascada de 20 etapas de separación sucesivas (cada etapa logra un enriquecimiento mayor que la anterior), la segunda con 2000 y la tercera con 20000 unidades de trabajo separativo (UTS).

La tecnología del manejo del fluor también era necesaria, puesto que el hexafluoruro de uranio es el gas que se enriquece en el pasaje de las UTS. Esta tecnología no estaba desarrollada en el país pero era medianamente lograble. El otro problema era la producción de membranas porosas de aluminio.

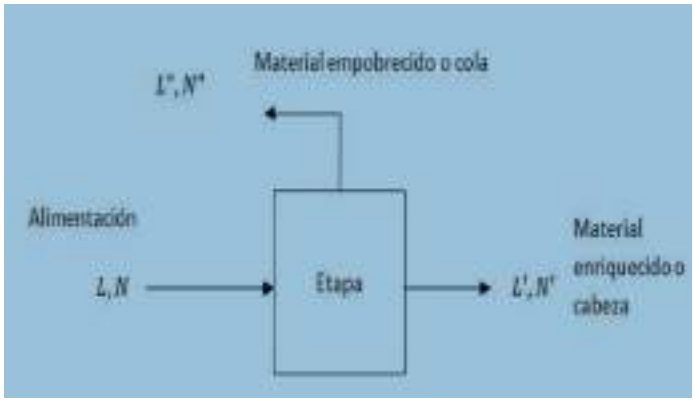


Fig. 4.15. La teoría de cascadas dice que si se hace pasar por una micromembrana el hexafluoruro de uranio, mediante la acción mecánica de un compresor; el caudal L y la concentración N, se obtiene una cabeza con concentración N prima mayor a N; y una cola con concentración N segunda menor a N.

Haciendo sucesivos pases por numerosas etapas se llega al grado de enriquecimiento requerido. Par ello se necesitan miles de compresores y mucho consumo energético.

El proyecto piloto se inició con la construcción de una planta en terrenos ubicados en Pilcaniyeu, paraje desértico de la Provincia de Río Negro, otrora un galpón para el ganado ovino, cercano al rio Pichinleufu. Para ello, Vialidad Nacional debió afrontar todo un desafío para construir un camino seguro hasta la zona, principalmente durante el invierno de 1980. Otro problema fue que no había provisión de electricidad; lo cual en principio fue subsanado con la instalación de tres grupos electrógenos de 500 KW.

Las instalaciones que comenzaron a levantarse en el lugar despertaron la curiosidad de muchos e incluso generaron pedidos de información por parte de la Embajada de los EE.UU, bajo la sospecha de que la verdadera finalidad de aquellas era la construcción de un reactor para la producción de plutonio.

A comienzos de 1982 la planta de producción de hexafluoruro de uranio y la de hidróxido de aluminio (para las membranas) estaban listas para producir.

El *mock up* (planta piloto) fue concluido en tiempo record y hacia fines de 1983[18], se comprobó que los datos teóricos del rendimiento de la planta coincidían con los medidos experimentalmente, lo que constituyó la prueba definitiva de que se había dominado el proceso así como también de que la ingeniería era la correcta. Restaba solamente continuar aumentando el número de módulos para alcanzar los valores de enriquecimiento deseados según las aplicaciones[19].

Fig. 4.16. Planta de enriquecimiento de uranio en Pilcaniyeu, Provincia de Río Negro.
Fuente: CNEA

Clarín

ANUNCIO DE CASTRO MADERO

Argentina produce ya su propio uranio enriquecido

Fig. 4.17. Tapa del diario Clarín del 19 de noviembre de 1983. Argentina sería el séptimo país que dominaba la tecnología de enriquecimiento.

Fuente: Biblioteca del Congreso de la Nación.

Ahogada por los problemas financieros y las presiones políticas externas la planta nunca logró pasar de su escala piloto. Sin embargo, logró que los países desarrollados reanudaran las ventas de uranio enriquecido a precio preferencial.

[18] Los primeros miligramos de uranio enriquecido fueron obtenidos en laboratorios de Villa Golf en febrero de 1981. La confirmación se produjo entre las noches del 26 al 27 de ese mes.
[19] Aumentar el grado de enriquecimiento solo era cuestión de aumentar el número de compresores en la serie. Se programaron tres cascadas luego del Mock up, la A1, la A2 y la A3. Ninguna entró en funcionamiento. Solo la A1 se puso parcialmente en operación.

Hacia mediados de los noventa solo era preservada por no más de diez personas. Hubo que esperar más de dos décadas para recuperar las capacidades productivas, hecho que se materializó en 2015. Sin embargo, la planta parece aún no encontrar su destino. Su tecnología es muy cara en comparación con los precios del uranio enriquecido internacionales. En este contexto, la CNEA se encuentra estudiando a escala de laboratorio tres métodos de separación distintos: 1) separación por láser; 2) tecnología SIGMA (que es una difusión gaseosa mejorada por varios factores ingenieriles, entre ellos la utilización de un compresor axial multiflujo) y 3) un prototipo de ultracentrífuga.

3.9. Cierre del ciclo de combustible nuclear. Reprocesamiento.

Como parte integral del ciclo del combustible nuclear se encuentra el reprocesamiento de los combustibles irradiados mediante el cual se recuperan el uranio no quemado y el plutonio generado en el combustible por acción de la irradiación neutrónica. El producto obtenido en este proceso es un nuevo combustible nuclear que puede ser utilizado para la generación de energía en los reactores actuales.

3.9.1. Combustible MOX

MOX, abreviatura de Mixed Oxide (Mezcla de Óxidos), es un tipo de combustible utilizado en los reactores nucleares de fisión compuesto por una mezcla de óxido de uranio natural, uranio reprocesado o uranio empobrecido, y óxido de plutonio. La proporción de plutonio en este combustible varía de un 3% a un 10%. Este combustible se comporta de una forma similar a la del uranio de bajo enriquecimiento para el que se diseñaron la mayoría de los reactores nucleares de agua ligera (LWR).

Cuando se producen las recargas de combustible, la mayoría del Plutonio-239 se consume en el reactor, ya que se comporta como el Uranio-235 y sus fisiones liberan una cantidad equivalente de energía. Cuanto más alto sea el quemado, menos plutonio queda en el combustible irradiado, pero un valor típico del plutonio en el combustible irradiado es de un 1%, siendo unas dos terceras partes Plutonio-239. En todo el mundo se producen unas 100 toneladas de plutonio en el combustible irradiado cada año. Un reciclado simple de plutonio incrementaría la energía que se deriva del uranio original en un 12% aproximadamente, pero si también se recicla el uranio se alcanza un 20%. Para utilizar el combustible MOX en un reactor nuclear es necesario utilizar más barras de control y sólo se cambia a MOX la tercera parte de la mitad del combustible recargado.

El proceso más difundido para la separación de plutonio y uranio de los EE.CC. gastados es el llamado PUREX (Plutonium Uranium Redox Extraction).

Fig. 4.18. Fuente: AREVA

Básicamente el proceso consiste en cortar los EE.CC., disolver el combustible interno; realizar una secuencia de extracciones liquido-liquido; concentrar y luego purificar. Todas estas operaciones normales unitarias estudiadas en ciencias químicas, pero con la gran diferencia de que se trata de materiales radioactivos.

Otro de los aspectos del reprocesamiento que vale la pena destacar es que simplifica el problema de la eliminación de los desechos radiactivos de alta actividad. Estos, por acción de las vainas, quedan confinados dentro de los combustibles irradiados, los cuales se almacenan en las piletas de agua que, a esos efectos, tienen las centrales núcleo-eléctricas. Mas este almacenamiento no es permanente, debido a que el elemento combustible no ha sido diseñado para permanecer a perpetuidad bajo el agua. Reprocesarlo significa no solo reutilizarlo sino reducir el problema de las piletas.

Cabe preguntarse aquí por qué, con las virtudes enumeradas anteriormente, no se reprocesa el combustible quemado. Las respuestas son diversas pero giran en tres aspectos básicos. El primero de ellos es un tema económico; hoy en día con los precios actuales del uranio (y lo cierto es que la historia de los precios anteriores también lo verifican) es cuatro veces más caro re-procesar; que adquirir combustible nuevo. Es decir, el reprocesamiento no es viable ante los valores de la tecnología actual. En segundo lugar, si bien los residuos se reducen en volumen su manipulación es mucho más riesgosa, toda vez que la vaina del elemento combustible (su contención primaria) es destruida. Esta manipulación acarrea cuidados especiales desde el punto de vista de protección radiológica e implica la construcción de plantas de tratamiento anexas para disposición final de residuos. En tercer lugar, en el sentido geopolítico, la mayor razón radica en que reprocesar el combustible implica obtener plutonio cuyo uso bien puede ser como combustible para óxidos mixtos; o bien para fines bélicos. Es decir una tecnología dual.

Solo los cinco miembros del Consejo de Seguridad de las Naciones Unidas, más India y Japón han operado plantas de reprocesamiento; sin transferencia de tecnología a terceros países. Sin

embargo, al igual que con la cuestión del uranio enriquecido, la nación Argentina tuvo un proyecto de desarrollo propio.

3.9.2. Laboratorio de Procesos Radio químicos (LPR)

La CNEA construyó en el Centro Atómico Ezeiza una planta piloto, tipo laboratorio llamada PR1 (planta de reprocesamiento 1) para tratar elementos combustibles irradiados y gastados provenientes de los reactores de investigación. Tratando elementos combustibles irradiados del RA1 separó 450 mg de plutonio, por primera vez en el hemisferio sur hacia fines de los años sesenta.

A principios de los setenta, y con la confirmación de los datos obtenidos en escala de laboratorio, se comenzó a diseñar la PR2. Una planta piloto que era el paso lógico posterior para ampliar la capacidad, confirmar la tecnología y pre-diseñar la fase industrial. La PR2 contó con el aval de J.D. Perón, ya en su tercer mandato. Sin embargo nunca comenzó a realizarse. El golpe militar de 1976 dio por acabado ese proyecto; pero lanzó otro de mayor envergadura que dio por llamar LPR. Así, a fines de 1977, comenzó a montarse en un sector remoto del Centro Atómico Ezeiza, una planta prototipo para obtener los óxidos de uranio y plutonio de los elementos reprocesados de Atucha I y Embalse. El contratista principal fue Techint y se estima que costó 400 millones de u$s.

En 1983, tras el retorno de la democracia, la planta fue paralizada (estando al 90% de su construcción) por cuestiones presupuestarias. Y en 1993 fue finalmente abandonado el proyecto por presiones internacionales[20].

Argentina nunca volvió a obtener plutonio.

3.10. Gestión de Residuos Radiactivos

Como hemos anticipado en el apartado anterior, la creación de energía por medio de la fisión nuclear genera productos altamente radiactivos -resultado de cada una de las fisiones- que quedan confinados en los EC por acción de las vainas que impiden su migración. Luego de ser utilizados (irradiados o quemados), los EC son almacenados bajo el agua en las piletas que a esos efectos tienen las centrales nucleares. No obstante, reiteramos, su estadía allí constituye una situación transitoria, ya que el elemento combustible no fue diseñado para estar depositado en forma permanente en un medio acuoso, pues la acción del tiempo, en este medio, origina una corrosión cuyo progreso depende de la eficiencia de los sistemas de desmineralización del agua. La solución real consiste entonces en el reprocesamiento del elemento combustible irradiado y el posterior depósito de los productos de fisión en lugares especialmente seleccionados.

[20] Si bien la planta piloto estaba diseñada para producir óxidos de plutonio, el salto cualitativo y cuantitativo para producir plutonio metálico (necesario para un explosivo nuclear) no era tan complejo.

El reprocesamiento, a la par que recupera el uranio no quemado y el plutonio que la irradiación neutrónica ha generado en el uranio no fisionable, separa los elementos altamente radiactivos. Estos productos, que salen de la planta de reprocesamiento en forma líquida, son sometidos a un proceso de vitrificación, mezclándolos con borosilicatos de vidrio en un horno. Los bloques de vidrio así formados son colocados en tambores de plomo de 10cm de espesor de pared que, a su vez, son acondicionados en tambores de acero. Dicho espesor asegura que los mismos podrían resistir la corrosión en un medio de agua salina durante al menos 1000 años.

Fig. 4.19 Sistemas de confinamiento y disposición según nivel de actividad.

Fuente: Programa Nacional de Gestión de Residuos Radiactivos. CNEA.

Por otra parte, los tambores deben ser enterrados en conformaciones geológicas especiales que cumplan una serie de condiciones, entre ellas, ser probadamente estables sísmicamente, presentar superficies exteriores impermeables y no tener vías acuíferas en la profundidad. Con esa perspectiva, se recurrió a la Universidad de San Juan, que goza de un reconocido prestigio en el campo de la geología, y se encaró un relevamiento a fin de hallar aquellos sitios del país que reunieran las condiciones requeridas. Era preciso que la capacidad fuera la suficiente para enterrar los 3000 contenedores que resultarían de la operación de las seis centrales previstas, con una vida útil de cada una estimada en 30 años. Afortunadamente, los resultados obtenidos en el relevamiento fueron sumamente positivos, ya que se descubrieron numerosos sitios que cumplían con las condiciones exigidas.

Se seleccionó entonces el intrusivo granítico presente en Sierra del Medio, a 50km de la localidad de Gastre, Provincia de Chubut. Se trata de un lugar desértico, sin posibilidades de explotación agropecuaria ni minera que, por otra parte, dadas sus características de paisaje indiferenciado, carece de atractivo turístico alguno. Se esperaba, por lo tanto, que la construcción de un repositorio en esa zona promoviera la incorporación de elementos de progreso y modernización. Fue en ese particular sitio que se iniciaron las investigaciones y estudios definitivos en sismología,

hidrología, geomorfología, de prospección minera y petrolera, con perforaciones superiores a los 500m; estudios que, hasta el momento, han demostrado la aptitud del lugar elegido para el propósito buscado. No obstante, por no ser considerado prioritario, a partir de 1984, el proyecto del reprocesamiento ha sufrido agudamente la parálisis que afectó al programa nuclear.

Resulta interesante analizar ahora otra cuestión, vinculada a ciertas estrategias comunicacionales observadas. En este sentido, es de notar que, llamativamente, a modo de persuasión a la opinión pública, algunos grupos suelen utilizar el término "basureo nuclear" para referirse al repositorio. Tal expresión sugiere la idea de un agujero en la tierra en el cual, en forma indiscriminada, desordenada y descontrolada, se vuelcan los desechos radiactivos. Sin embargo, lejos de ello y hasta en contradicción con dicho concepto, un repositorio nuclear, como toda instalación de ese carácter, es extremadamente limpio, higiénico, ordenado y se encuentra asimismo bajo un estricto control a fin de que ningún elemento portador de contaminación atraviese determinados límites. Contaría también con un eficiente sistema de monitoreo, tanto interior como exterior, de niveles de radiación. Además, se ejercería un análisis permanente sobre la influencia que la instalación pueda tener sobre la flora y la fauna del medio circundante. Por otra parte, la seguridad se vería reforzada por el número y la magnitud de las barreras geológicas y de ingeniería que se interponen entre los desechos y el medio ambiente.

Siendo hoy Gastre un proyecto incierto, ¿dónde se almacenan los desechos? En primer lugar se caracterizan, se clasifican y luego se segregan. La caracterización es conocer el comportamiento del producto y estimar los cambios que le pudieran ocurrir en la disposición final o temporaria. Segregar es separarlos según las características de los mismos: físicas, químicas, radiológicas y/o biológicas. Mientras que para la clasificación, debemos conocer su radio – actividad; encontrando así la siguiente calificación y tipo de remediación.

Baja Actividad.

- Requieren un tiempo de aislamiento igual o menor que el de la vida útil de la instalación que los genera (algunas decenas de años).
- Esta categoría incluye la mayoría de los residuos sólidos que se producen durante la operación y mantenimiento de las centrales nucleares y por usuarios de radioisótopos.
- Ejemplos: papeles, material estructural contaminado, hormigón, plásticos, herramientas, ropa de protección que utiliza personal que trabaja en zonas activas (guantes, cubre-zapatos, overoles) y residuos líquidos concentrados por evaporación resultantes de la purificación y limpieza de los circuitos de refrigeración de las centrales y del mantenimiento de las mismas.

Media Actividad.

- Requieren tiempos de aislamiento mayores que los de la vida útil de las instalaciones que los producen (100-200 años) pero no mayores que la vida útil de ciertos materiales, tales como el hormigón o compuestos orgánicos fácilmente utilizables como barreras de ingeniería.

- Ejemplos: filtros mecánicos para la retención de partículas, resinas de intercambio iónico y barros provenientes de la descontaminación de los sistemas del circuito primario del reactor. También fuentes de uso médico e industrial en general.

Alta Actividad.

- Poseen altas concentraciones de radio nucleídos de períodos cortos y largos (productos de fisión, de activación y materiales fisionables como U y Pu) y generan calor.

- Requieren tiempos de aislamiento superior a algunas centenas de años.

- Son principalmente los residuos provenientes de la primera etapa de extracción del reprocesamiento de los elementos combustibles irradiados o estos mismos combustibles si no se decide reprocesarlos (ciclo abierto).

El Programa Nacional de Residuos Radiactivos cuenta con un predio de 8 hectáreas en el Centro Atómico Ezeiza, destinado al tratamiento, acondicionamiento y almacenamiento interino de los residuos producidos por los pequeños generadores; y al almacenamiento de las fuentes medicinales e industriales en desuso.

Los residuos de baja actividad se almacenan en trincheras, según el esquema de la figura siguiente.

Fig. 4.20. Diagrama de trinchera ídem Centro Atómico Ezeiza.

Fig. 4.21. Vista aérea trincheras Centro Atómico Ezeiza.

Créditos: CNEA

3.11. Almacenamiento de EE.CC. quemados.

Un elemento combustible quemado no es un desecho, ni debe ser tratado como tal. Hemos visto que el EE.CC. aún tiene mucha energía para dar; por cuanto se lo almacena hasta tanto se defina su potencial reutilización. El combustible gastado, que genera calor y radiación considerables, se coloca en piscinas de agua profundas en las instalaciones del reactor, donde se puede almacenar de forma segura. Actualmente, también se utiliza el almacenamiento en seco, en contenedores de hormigón, por fuera de la isla nuclear.

Fig. 4.22. Vista de piletas en el interior del edificio del reactor de la Central Nuclear Atucha I (izquierda). Vista de los silos de hormigón para almacenamiento en seco de los EE.CC. gastados en los exteriores de la Central Nuclear Embalse (derecha). Créditos: A.R.N.

Los contenedores suelen tener un cilindro metálico sellado para aislar el combustible gastado y este cilindro está encerrado dentro de la envoltura externa de hormigón que proporciona protección contra la radiación. En algunos diseños, los contenedores se colocan verticalmente en una plataforma de hormigón; en otros, se colocan horizontalmente.

El almacenaje de barrica seca es seguro para las personas y el medio ambiente. Los sistemas han sido diseñados para contener la radiación, gestionar el calor y evitar la fisión nuclear. Deben resistir terremotos, proyectiles, tornados, inundaciones, temperaturas extremas y otras situaciones. El calor generado por el combustible gastado suele ser, comparativamente, menor que el que

emite un sistema de calefacción residencial. El calor y la radioactividad disminuyen con el tiempo sin la necesidad de ventiladores o bombas. Los contenedores están bajo monitoreo y vigilancia constantes de la ARN.

4. EL ASUNTO DEL AGUA PESADA

Comenzaremos el presente apartado realizando una breve caracterización del material en cuestión. En este sentido, lo primero que debemos tener presente cuando hablamos del agua pesada es que su densidad es ligeramente mayor a la del agua común, siendo que un litro de la primera pesa 1105g, mientras que un litro de esta última pesa 1000g. La composición tampoco es la misma, pues las moléculas de agua común contienen dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H2O) y las de agua pesada, en cambio, se componen de dos átomos de deuterio y uno de oxígeno (D2O). Si bien el comportamiento químico del deuterio es igual al del hidrógeno, difieren en cuanto a su comportamiento físico, en tanto que el deuterio es un isótopo del hidrógeno (del griego, iso: igual, y topos: lugar). En el modelo atómico, esta identidad se debe a que ambos átomos poseen un sólo protón pero, mientras el átomo de hidrógeno carece de neutrones en su núcleo, el de deuterio tiene uno, siendo este agregado de un componente con masa el factor explica su mayor peso.

En las reacciones nucleares en cadena se liberan neutrones que chocan con los núcleos de átomos de uranio partiéndolos (fisión) y liberando energía (en forma de calor) y más neutrones. Éstos, a su vez, repiten el mecanismo antedicho, produciendo una reacción en cadena. Debido a que los neutrones provenientes de la fisión cuentan con excesivas velocidades para inducir nuevas fisiones y poder obtener la reacción en cadena, se debe reducir esa velocidad mediante choques inelásticos con los núcleos atómicos de alguna sustancia (moderador) que sea capaz de sustraerles energía sin absorberlos. Esta función de moderador es realizada por el agua pesada, que es 30 veces menos absorbente que el agua común.

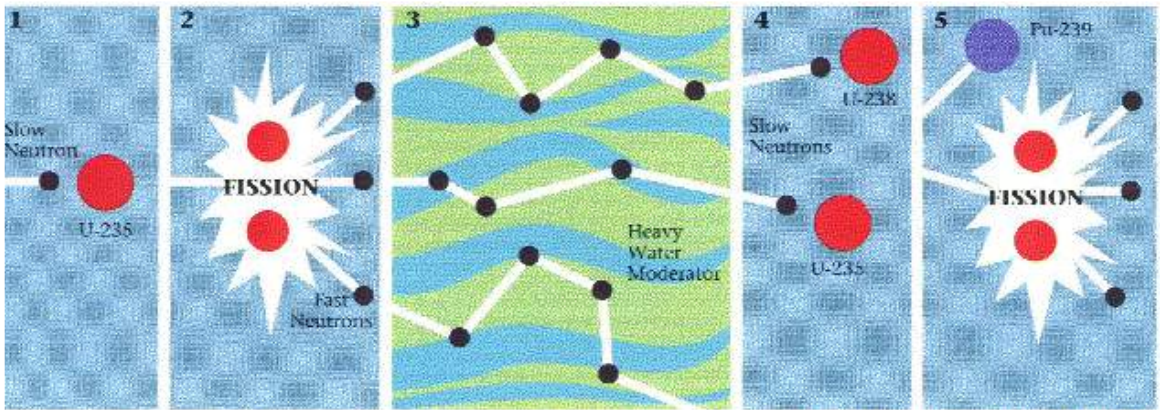


Fig. 4.23. El proceso de fisión nuclear. Para que se produzca la fisión nuclear, un neutrón debe chocar a un átomo de uranio. Al hacerlo, se produce la partición del núcleo que genera energía, en forma de calor, y más neutrones. Dichos neutrones son desacelerados en un moderador (agua pesada) que permite que vuelvan a golpear otros núcleos de uranio y así generar la reacción en cadena.

Si bien ya hace tiempo que se conocen los procesos químicos-industriales, hacer agua pesada constituye un verdadero desafío a la tecnología. Al contener el agua común un solo átomo de deuterio, por cada 7.000 átomos de hidrógeno, nos vemos obligados a tratar en grandes y costosas instalaciones aproximadamente 20.000 litros de agua común por cada litro de agua pesada producida. Además, para poder utilizarla en los reactores de uranio natural, es necesario que el nivel de pureza (llamado grado reactor) de agua pesada obtenido sea del 99.8%.

Considerando la necesidad de asegurar el abastecimiento de agua pesada, insumo crítico producido en escala industrial por un reducido número de países y fácilmente susceptible a ser objeto de presiones internacionales; y con el fin de conquistar la independencia tecnológica en este campo, la CNEA resolvió oportunamente la ejecución de los Proyectos Agua Pesada. Éstos consisten en: a) Asegurar el suministro nacional contratando la provisión de una planta industrial con una capacidad de 250Tn/año; y b) Desarrollar la tecnología nacional a través del diseño, construcción y operación de una planta experimental que a su vez permitiría, en el futuro, el diseño y construcción de plantas en escala industrial con tecnología propia.

4.1. Planta Industrial de Agua Pesada

Al referimos a la Planta Industrial de Agua Pesada debemos contextualizar la decisión de impulsar su construcción en el marco del Plan Nuclear Argentino, particularmente en vistas de la función que se le asignara, consistente en proveer a las centrales termonucleares el agua requerida para su funcionamiento. Pues, de acuerdo con la medida oportunamente tomada por el país en procura de asegurar el ciclo de combustible nuclear, todas ellas debían operar con el esquema uranio natural-agua pesada.

En Argentina, los primeros antecedentes vinculados al proyecto en cuestión remiten a la década del ‘50, cuando un grupo de profesionales de la CNEA[21] comenzó a trabajar en el diseño de una columna de destilación. Posteriormente, durante los años ‘60, se propuso el método de intercambio isotópico SH_2/H_2O, idéntico al que con éxito se desarrollara en EE.UU. En dicha oportunidad se sugirió incluso que la futura planta fuera emplazada en las cercanías del Lago Muster (Chubut) para una fácil disponibilidad de agua[22]. Una ulterior adaptación de tal informe, dado ya por el análisis de factibilidad económica, modularía dicha planta en 200Tn/año de producción, reubicando la misma en Río Senguer (Chubut) o Río Chico (Tierra del Fuego).

[21] Enrique Silberman, Walter Barán y Juan Mac Millan. El trabajo quedó trunco por falta de recursos.

[22] Para una planta de 20Tn/año.

Entre tanto, hacia 1964, en el marco de la central de Atucha I, se profundizó el estudio sobre el proceso SH_2/H_2O. Sin embargo, no fue sino hasta principios de 1974 que se organizó formalmente un grupo de trabajo -con rango de Dirección- para darle continuidad al tema. Como dijimos anteriormente, la Dirección fijó sus dos objetivos en a) asegurar el suministro nacional, contratando la provisión de una planta llave en mano; y b) desarrollar el diseño nacional a través de un prototipo piloto, y luego industrial.

En 1976 emergió, por primera vez, a raíz del tema energético, la localidad de Arroyito, cercana a El Chocón, Provincia de Neuquén, como potencial emplazamiento. Arroyito aparecía así como posible respuesta frente a la confiable provisión de energía que la Planta demandaba, ya que en él se conjugaban los cuatro factores de localización requeridos, a saber: a) disponibilidad de agua en cantidad y calidad adecuadas; b) disponibilidad de energía eléctrica; c) disponibilidad de gas combustible natural; y d) desarrollo de la región Patagónica.

En el marco de este proyecto se establecieron una planta piloto de 20Tn/año, operativa a fines de 1980, y una planta industrial de 400Tn/año para la región, operativa desde 1984.

El programa en sí era por cierto muy ambicioso. De hecho, eran muy pocos los países que poseían plantas en escala industrial, entre ellos, Canadá, que había construido varias facilidades para el Proyecto Manhattan y que, con su planta de Ontario de 700Tn, ha dominado el mercado mundial durante largo tiempo. También la India, con su planta de Nangal; país que incluso tenía en carpeta un ambicioso programa de reactores de uranio natural y agua pesada muy parecido al programa argentino[23]. Y EE.UU, que había impulsado su construcción en el marco del programa de reactores militares. Por último, resta mencionar a la ex URSS, China, Francia y el Reino Unido, que contaban con plantas de escala moderada. Noruega, en cambio, como hemos visto, a pesar de ser pionera en el desarrollo, no tenía planta operativa a la fecha.

En enero de 1977 se produjo un nuevo giro en el proyecto argentino, al decidirse la adquisición, bajo la modalidad llave en mano, de una planta para la facilidad industrial. Respecto a la planta piloto, se propuso realizar una unidad experimental, cuya primera etapa debía llegar a un enriquecimiento de deuterio del 15% y la segunda, del 15% al grado reactor de 99,8%. En este escenario, se mantuvo la elección de Arroyito como localización para la planta industrial y se propuso en cambio emplazar la planta experimental, de tecnología nacional, cerca de Atucha I, en Lima, Provincia de Buenos Aires, debido a que el centro productor de insumos industriales estaba concentrado en esa provincia.

Dos años más tarde, se aprobó el Plan Nuclear Argentino que, como vimos, establecía la construcción de cuatro nuevas centrales que debían entrar en operación comercial en 1987 (Atucha II), 1991, 1994 y 1997, respectivamente (Atucha I había entrado en operación en 1974 y la

[23] Volveremos sobre este punto por la relevancia del tema.

construcción de Embalse se había ya iniciado). Más de 200 personas estarían afectadas a este proyecto sancionado en 1979. En este contexto, la Dirección original se subdividió en tres gerencias: la Gerencia Planta Industrial de Agua Pesada (PIAP) de Arroyito, la Gerencia Planta Experimental de Agua Pesada (PEAP) de Atucha y la Gerencia Módulo 80 para la futura planta industrial de diseño nacional.

Habiéndose presentado 19 ofertas de empresas extranjeras para la producción de agua pesada en Argentina, el proyecto fue finalmente adjudicado a la firma suiza Sulzer Brothers Limited. La CNEA estableció con el adjudicatario un contrato llave en mano por el cual la empresa suministraría la tecnología, el equipamiento, la ingeniería, la dirección de obra y puesta en marcha de una planta de agua pesada de 250Tn/año de capacidad de diseño y 200Tn/año de capacidad garantizada, iniciándose las obras a fines del año 1979. El contrato incluía los manuales de operación y de mantenimiento, las listas de repuestos y un convenio de asistencia de operación y técnica general, todo lo que normalmente compete a esta clase de contratos. El plazo para realizar las obras fue establecido en 48 meses, contados a partir del 15 de diciembre de 1979. Sin embargo, la Planta no entró en operación sino hasta 1994, 11 años después de lo estipulado por el cronograma original.

Previo a comenzar el análisis argumentativo, es preciso especificar a qué nos referimos cuando hablamos de producir agua pesada. En primer lugar, cabe señalar que el proceso elegido a tal fin fue el más eficiente conocido a nivel mundial: el intercambio isotópico con amoníaco e hidrógeno, proceso que integra tres etapas consecutivas de enriquecimiento. En pocas palabras, consiste en la extracción de deuterio del agua natural -que contiene 145ppm de deuterio- mediante un intercambio isotópico con amoníaco gaseoso, devolviendo a continuación el agua al río con un contenido aproximado de 45ppm de deuterio. La corriente de amoníaco obtenida es, a su vez, enriquecida en deuterio a través de un nuevo intercambio isotópico con una mezcla de gas de síntesis (hidrógeno + nitrógeno), para luego finalizar en un proceso de oxidación catalítica con aire y así obtener la molécula de agua pesada.

Este proceso de producción demanda equipos de alta tecnología, entre ellos, columnas de intercambio isotópico de 5m de diámetro y 50m de altura, en cuyo interior se encuentran las etapas de intercambio, que trabajan a temperaturas de hasta 25°C bajo cero y en presiones cercanas a las 250 atmósferas. Para poder llegar a estas presiones, conjuntamente con un caudal gaseoso importante, se necesitan compresores centrífugos cuya potencia es del orden de 14MW, siendo que la planta tiene instalada una potencia eléctrica de 81MW y se ve favorecida por la línea de 132Kv proveniente de las centrales El Chocón, Planicie Banderita y Arroyito. Además, se precisan estaciones de bombeo y tratamiento para 700Tn/hora de agua captadas del lago de la presa compensadora. Respecto a la reacción, ésta se desarrolla a elevadas temperaturas en hornos calentados por combustión de gas natural, insumo proveído a través de una derivación del gasoducto Plaza Huincul – Gral. Conesa.

No es sorprendente que, en 24.000Tn de equipos mecánicos y eléctricos, encontremos más de 300 bombas, 250 intercambiadores de calor, 240 recipientes de presión, 90 compresores de gases, 30 columnas de destilación y 8 hornos, distribuidos en una superficie de 20ha, con una gran estructura metálica soporte.

Las razones de tamaña extensión de plazos no obedecen a causas únicas y, por otra parte, muchas de ellas, como veremos, no son exclusivas del Proyecto Agua Pesada[24]. En primer lugar, se llegó a cuestionar la idoneidad y capacidad técnica del proveedor, ya que si bien Sulzer era experto en plantas químicas, no había fabricado previamente ninguna planta de agua pesada propiamente dicha. A diferencia de lo sucedido con la buena complementación alemana en Atucha, la relación entablada entre Sulzer y la CNEA no fue la más deseable.

En segundo lugar, la PIAP representaba la segunda licitación llave en mano de importancia en el sector nuclear, luego de Atucha I. Pero el mundo de 1980, no era el mismo que el de 1968.

El conflicto de Malvinas de 1982 infringió un duro golpe cuyas cicatrices permanecieron hasta la ruptura del contrato, pues el agua pesada representaba una tecnología sensitiva clave para el desarrollo de un programa nuclear militar. Por tanto, el bloqueo que Londres solicitó a sus socios europeos abarcó tanto a las armas como a los equipos y repuestos, entre ellos, los que potencialmente podrían ser derivados en contra de sus intereses.

La crisis económica de 1983 a 1985, el fracaso del Plan Primavera, la hiperinflación, la grave crisis de deuda latinoamericana, la interrupción de los flujos externos de capital y, por sobre todas las cosas, la incapacidad interna de fondear el proyecto con ahorros genuinos; dieron por tierra con el objetivo. El contrato con Sulzer quedó trunco y caducaron las garantías de los equipos antes de ponerlos en marcha.

No fue sino hasta 1989 que se decidió crear la Empresa Neuquina de Servicios de Ingeniería (ENSI), Sociedad del Estado entre la Provincia de Neuquén (51%) y la CNEA (49%). Se establecieron a tal fin dos contratos, uno con el propósito de terminar la planta y otro con la finalidad de realizar la puesta en marcha y operación.

Gracias al trabajo realizado por ENSI se produciría, por primera vez en Argentina, agua pesada el 9 de septiembre de 1994. Desde esa fecha hasta la actualidad, la empresa ha producido el agua pesada necesaria para devolver las existencias que se encuentran operando en nuestras centrales[25] e incluso ha exportado a Canadá, Francia, EE.UU, Corea del Sur, Australia, Noruega,

[24] Ver Bidabehere. L. (2000) *Agua Pesada: un proyecto original en la Patagonia Argentina.* Buenos Aires, Ed. Ciencia y Tecnología.
[25] El agua pesada de la central de Embalse no era propiedad de la Argentina, sino que se encontraba arrendada de Canadá.

aún más, en nuestros días, se ha convertido en el principal país exportador mundial[26]. Asimismo, ENSI ha producido la carga inicial de 670Tn para Atucha II y, seguramente, haría lo propio de continuarse el proyecto para una cuarta central nuclear PHWR.

En el presente, ENSI no sólo opera la planta de producción, sino que, además, brinda servicios de ingeniería, construcción, montaje y mantenimiento de equipos y plantas para clientes fundamentalmente vinculados a la industria del petróleo y gas. Sin embargo el futuro no es promisorio. Si los proyectos de uno o dos módulos PHWR para la cuarta central no se llevan a cabo, la planta queda sobre-dimensionada para las reposiciones internas y las exportaciones ocasionales. Y si bien se estudia desde hace más de veinte años su reconversión a producir fertilizantes, nada ha llegado aún a buen puerto.

Como a lo largo de las últimas dos décadas la planta necesitará el aporte del Tesoro Nacional para no cerrar.

4.2. Planta experimental de agua pesada

La planta experimental de agua pesada fue concebida con la intención de comenzar a desarrollar dentro del país la tecnología requerida para la producción de agua pesada a escala industrial. Se trató de un proyecto enteramente argentino, cuyas etapas fueron desarrolladas, en su totalidad, por empresas e instituciones nacionales, bajo la dirección y coordinación de la CNEA. La planta, cuya capacidad de producción, por ser un diseño experimental, fue pensada en 2 a 3Tn/año, estaba emplazada al norte de la Ciudad de Buenos Aires, en Lima, Provincia de Buenos Aires, en un terreno lindante con la Central Nuclear de Atucha.

En línea con lo antedicho y poniendo en práctica los conocimientos hasta entonces incorporados, se le fue dando forma a un nuevo proyecto, denominado Módulo 80, cuyo propósito era desarrollar la ingeniería para una planta de producción de 80Tn/año. Desde el punto de vista de la ampliación de la cantidad de centrales nucleares para el nuevo milenio, la justificación del mismo era correcta, especialmente aceptando que la capacidad de la planta industrial que se había comprado al exterior estaría saturada. Por otro lado, al tratarse de un diseño propio y siendo que en aquel momento Argentina aún no formaba parte de los regímenes de salvaguardias, dicha tecnología podría asimismo ser exportada sin que esta transferencia a terceros países encontrara obstáculos. Finalmente, luego de haber permanecido durante años en carpeta, en 1979 se inició la construcción de esta Planta, previendo que fuera concluida en un plazo de cuatro años.

[26] A excepción de la India, que necesita para sus reactores PHWR; Rumania, que opera una planta muy ineficiente; e Irán, que la necesita para su conflictivo reactor de Arak, no existen plantas de agua pesada operativas en el mundo.

En relación a la obra correspondiente a la planta experimental, hacia 1984, el avance global de la misma era de un 80%, en tanto que su construcción no finalizaría sino hasta 1991. Recuerdo haberla visto montada eses mismo año, en ocasión de una visita a Atucha I. Pero sin actividad.

Llamativamente, el año siguiente, se propuso su desmantelamiento y posterior venta a Irán[27]. Fue así que en 1996, a pesar de que la política de acercamiento que el gobierno de Carlos Menen había trazado con EE.UU. impidió que la operación comercial fuera concretada, comenzó su anunciado desguace, destrucción que recién concluiría en el año 2003.

¿Era la visión correcta desarrollar una Planta Experimental de Agua Pesada? ¿No nos encontrábamos ya en el umbral de los PWR? ¿No hubiese convenido esa alocación de capital en otro proyecto del ciclo de combustible?

4.3. Fundamentos de una decisión

Un correcto análisis de los proyectos de agua pesada nos exige situarnos primeramente en el tiempo y lugar correspondientes, tarea a la cual nos abocaremos en los próximos párrafos.

En un comienzo, Argentina había decidido transitar la línea de los reactores de uranio natural, que obligatoriamente precisan del agua pesada. No obstante, como vimos, los PHWR no son los reactores que mayor desarrollo han tenido a nivel mundial, sino que son los PWR, de uranio enriquecido y agua natural, los que han dominado el mercado. Esto último, que en base a la cantidad de unidades en funcionamiento hoy resulta evidente, no parecía tan obvio en los años ’70, cuando optar por un PWR implicaba a su vez depender de otros países para contar con la tecnología necesaria, fundamentalmente en el enriquecimiento de uranio. Tecnología, por otra parte, dominada por las potencias de la época y de difícil transferencia, ya que podría ser derivada a la construcción de un explosivo como el de Hiroshima.

En el caso de Argentina, no sólo se habían descubierto considerables reservas de uranio natural sino que, además, el país contaba con una infraestructura minera, metalúrgica y química capaz de

[27] “*El primer período de colaboración argentino-iraní comienza a mediados de los 70. Coincide con la creación de la Agencia Atómica Iraní, que se crea en el año 73 y la participación de los siete científicos argentinos. El segundo período es el de los años 1985 al 1995 o1996, ya después de la revolución iraní del 1979. La segunda colaboración de la Argentina comienza en 1985 ya a las postrimerías de la guerra Irán-Irak. Fue cuando Irán, ya bajo el régimen de los ayatollahs, decide retomar el programa ambicioso iniciado por el Sha en los 70 Hacia el 85-86 hubo varias visitas oficiales de iraníes, del gobierno iraní a Argentina y de argentinos a Irán para explorar posibilidades de cooperación… (continúa)…En el 85-86, la AIEA le pide a Argentina que colabore con Irán para cambiar el núcleo de su reactor de investigación, porque hasta ese momento funcionaba con uranio al 90%. Estados Unidos, después del ayatollah, y los otros países, no le venden más a Irán ni a ningún país uranio al 90% porque puede servir para hacer la bomba. Entonces, lo que se hace es convertir este reactor para que funcione con uranio de menos enriquecimiento, y Argentina tiene la tecnología para hacer esa reconversión. En 1987 se firma un contrato, bajo el paraguas de la Agencia Internacional de Energía Atómica. Argentina le provee a Irán las modificaciones del reactor necesarias para ese cambio de combustible. Le provee también los combustibles, algo así como 115 kilos de uranio al 20%, que sirve solamente para alimentar un reactor, no para hacer la bomba”* Jinchuk, Darío (2015*)* Argentina colaboró con Irán en el Desarrollo de su Plan Nuclear. *Clarín*.
Darío Jinchuk es experto retirado del OIEA. Actualmente es consultor internacional.

desarrollar el combustible de uranio natural necesario para el reactor en un plazo relativamente breve. En consecuencia, era factible que se lograra dominar el ciclo de combustible necesario para la vida de las centrales eléctricas. A tales ventajas se sumaba que la línea de uranio natural permitía sacar mayor provecho del recurso uranífero ya que, siguiendo esta línea, el consumo de uranio por kilowatt hora generado es un 15% menor al propio de la línea del uranio enriquecido. También calificaba positivamente el hecho de que la industria nacional podría tener mayor participación en la línea del combustible natural, particularmente en el caso del reactor de tubos de presión, más accesible a la capacidad industrial del país.

Claro que en esa ecuación faltaba el agua pesada. Desarrollar esta tecnología resultaba, en ese entonces, más plausible que enriquecer uranio y, en última instancia, las potencias dominantes pondrían menos reparos en permitirnos emprender su desarrollo que en enriquecer uranio.

Si la planta de Arroyito hubiese entrado en operación en el año 1983 y hubiésemos contado con las cuatro nuevas centrales en las fechas previstas (1987, 1991, 1994 y 1997), la factibilidad técnico-económica hubiera poseído sustento. Pero nada de esto fue así. Aún más, Argentina careció de la visión temprana de los PWR para los reactores de potencia.

Visión que tuvo, en horas tempranas, con el desarrollo de los reactores de investigación, que la catapultaron a lograr las mayores exportaciones de tecnología que haya concebido la Nación.

5. REACTORES DE INVESTIGACIÓN.

Argentina fue el primer país en poner en funcionamiento un reactor nuclear de investigación en el hemisferio sur. El 17 de enero de 1958 se alcanzó la primera reacción nuclear controlada en el núcleo del reactor RA-1, en el Centro Atómico Constituyentes. El logro estuvo a cargo de científicos de la Comisión Nacional de Energía Atómica y marcó un verdadero hito. Salvo el uranio enriquecido –que fue suministrado por Estados Unidos– y algunos pocos componentes electrónicos importados, el reactor y sus elementos combustibles –cuya fabricación fue responsabilidad de la División Metalurgia que dirigía Jorge Sabato– fueron desarrollados íntegramente por profesionales argentinos. Aún hoy sigue operando, a requerimiento.

El RA-2 era una instalación crítica basada en un reactor tipo tanque, el cual operaba a muy baja potencia. Una instalación crítica es básicamente un reactor de potencia cero, habitualmente utilizado para entrenamiento o para ensayar diseños de nuevos reactores de investigación. Este conjunto estuvo en operación desde julio de 1966 hasta el accidente producido el viernes 23 de setiembre de 1983. La CNEA diseñó y construyó esta instalación en el Centro Atómico Constituyentes (CAC) con el objetivo de estudiar y experimentar las configuraciones del núcleo del reactor de investigación RA-3.

Tras producirse el fatal accidente, la instalación crítica RA-2 fue puesta fuera de servicio ese mismo mes. Entre los años 1984 y 1989 la CNEA procedió a darle curso a los trabajos de de-comisionamiento, desmantelamiento y recuperación de los sectores del edificio expuestos a las radiaciones. En el año 2005 todas las dependencias afectadas fueron abiertas nuevamente al uso irrestricto.

En 2007 se procedió a la exportación hacia Estados Unidos del inventario de todos los elementos combustibles gastados y sin usar en este reactor, que fueran elaborados en aquel país con uranio altamente enriquecido (HEU 90%). El envío de estos materiales fue negociado y coordinado conjuntamente con el Departamento de Energía de los Estados Unidos, y consistía básicamente en 19 conjuntos de uranio altamente enriquecido y 91 placas de combustible curvadas, que hasta ese momento fueron mantenidas en condiciones de almacenamiento seco en dependencias alejadas del edificio del reactor.

El RA-3 es el principal abastecedor de radio isotopos para uso medicinal del país. Fue inaugurado en 1967 en el Centro Atómico Ezeiza. La determinación de diseñar y construir el nuevo reactor en lugar de adquirirlo mediante las facilidades ofrecidas por los exportadores, se sostuvo en tres principios básicos: generar autonomía tecnológica, cimentar la infraestructura científico-tecnológica requerida para la utilización social óptima de la energía nuclear; y producir un "efecto demostración" para futuras exportaciones. En el caso del RA-3, la participación de la industria nacional fue del 90%. En paralelo con la construcción del reactor, se diseñaron y construyeron los elementos combustibles de uranio enriquecido al 90%. En la actualidad, en este reactor se implementa una tecnología desarrollada por la CNEA, que utiliza uranio de bajo enriquecimiento para la producción de blancos de irradiación mediante los cuales se consigue garantizar la producción nacional de Mo-99 (Molibdeno 99)**,** principal radio-nucleído de aplicación médica.

Fig. 4.24. Construcción del RA3, 1964
Créditos: Archivo general CNEA.

En 1969, la ex República Federal de Alemania dona un reactor que luego es bautizado RA-4. En la actualidad opera en el Instituto de Estudios Nucleares y Radiaciones Ionizantes, en la Universidad de Rosario, utilizándose básicamente para docencia.

El RA-5, y también el RA-7 y el RA-9, fueron encarados a nivel diseño en las décadas del 70´ y el 80´, y llegaron en algún caso a un avanzado estado de su ingeniería, pero no se les asignó luego presupuesto para su construcción (el tercero de ellos fue solamente ideado).

El RA-6 es el reactor de investigación y docencia por excelencia argentino. Ubicado en el Centro Atómico Bariloche, es utilizado por los alumnos del Instituto Balseiro en su formación académica. El RA-6 es un reactor multipropósito (MPR) de 1 MW de potencia térmica, de pileta abierta, que funciona con combustible de uranio enriquecido al 20 % en U235, es refrigerado con agua liviana y se usa para investigación y entrenamiento. Tiene un diseño sencillo y versátil, con núcleo de configuración variable. Fue construido íntegramente por INVAP (Investigación Aplicada Sociedad del Estado) y puesto a crítico en 1982.

Fig. 4.25. Edificio del reactor – Centro Atómico Bariloche (izquierda). Reactor RA-6 (centro). Consola secundaria de aprendizaje para los alumnos del Instituto Balseiro. Esta consola está conectada a la consola principal operada por el Jefe de Turno del reactor (derecha). Créditos: fotos del autor en ocasión de su instrucción en el Centro Atómico Bariloche.

El RA-8 tuvo como misión exclusiva testear el núcleo del futuro reactor denominado Central Argentina de Elementos Modulares (CAREM), fue diseñado y construido por INVAP para la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) en Pilcaniyeu, en la provincia de Río Negro, Argentina. Funcionó entre 1997 y 2001.

El RA-10 es, junto con el CAREM, el proyecto más relevante en el ámbito nuclear. Este reactor, que se construye actualmente en el predio del Centro Atómico Ezeiza, será el reemplazo natural del RA-3 y su objetivo principal será la provisión de radioisótopos para el mercado local y la exportación. Amén de lo anterior, tendrá también líneas de aplicación para el estudio en ciencias básicas en el futuro Laboratorio Argentino de Haces de Neutrones.

El RA-10 está a la cabeza de los desarrollos de este tipo de reactores a nivel mundial y ha seguido una línea de evolución tecnológica cuya referencia inmediata es el Proyecto OPAL, el más moderno reactor de producción de radioisótopos que Argentina –a través de INVAP– construyó para Australia (2007). Por ello, la CNEA contempla que el Proyecto RA-10 recibirá más del 80% de aporte de empresas e instituciones del país en tecnología y servicios asociados.

En la actualidad el grado de avance general (obra civil y suministros) es del 60% y se espera su puesta a crítico para 2021.

Fig. 4.26. Render del RA-10. Créditos: X Congreso Regional Latinoamericano IRPA, Ciudad de Buenos Aires, Abril 2015

6. EXPORTACIONES NUCLEARES Y RECONOCIMIENTO INTERNACIONAL

De acuerdo con el propósito original del Plan Nuclear plasmado en 1979 aunque concebido con anterioridad, se constituyó un grupo integrado por importantes empresas dotadas con la capacidad de producir equipos y suministros de calidad nuclear. En este plano, la que ha tenido la mayor proyección internacional ha sido INVAP.

Sin lugar a dudas, Investigación Aplicada Sociedad del Estado (INVAP S.E.) es la empresa nacional de tecnología por excelencia, nacida a raíz de las inquietudes de Jorge Sábato, quien fuera merecedor de numerosas menciones internacionales por sus valiosos aportes a la ciencia. Sobrino del escritor argentino Ernesto Sábato, este reconocido físico que se ha desempeñado en la CNEA desde los orígenes mismos del Organismo, especializándose en el área de metalurgia de materiales, ha propuesto un modelo de política científico-tecnológica basado en un triángulo con vértice en el Estado (como diseñador y ejecutor de la política), la infraestructura científico-tecnológica (como sector de oferta de tecnología) y el sector productivo (como demandante de tecnología). En este sentido, consideramos que el aporte más importante que ha dejado a nuestra nación probablemente sea el haber actuado como propulsor de la incubación y de la creación de la "*empresa de tecnología"* argentina, eje fundamental del segundo vértice de su triángulo imaginario.

Hacia 1971, en el Centro Atómico Bariloche, se desarrollaba un "Programa de Investigación Aplicada" liderado por el Dr. Conrado Varotto. Nacido en Italia, llegó a nuestro país siendo pequeño, de la mano de sus padres, a quienes siempre agradeció haber emigrado a Argentina. Doctorado en el Instituto Balseiro y posdoctorado en Stanford, EE.UU., de regreso a nuestro país

se puso al frente del mencionado Programa, que germinaría la idea de Sábato. Es así como nace, el primer día de septiembre de 1976, INVAP S.E., con la idea de crear soluciones tecnológicas y vivir de los ingresos generados por la comercialización de dicha tecnología. Habiéndose constituido en la Provincia de Río Negro a fin de aprovechar tanto la infraestructura del Centro Atómico Bariloche como el caudal científico del Instituto Balseiro, formaban parte de su misión también el afianzamiento de la Patagonia y el desarrollo de un polo laboral para la región.

Claro está que, en sus comienzos, la empresa debería crecer bajo el paraguas del Estado, en particular, de la CNEA, quien encomendaría los proyectos. Entre ellos, uno de los primeros que ha ejecutado ha sido el desarrollo de esponjas de circonio, metal imprescindible para la industria nuclear que se utiliza en la fabricación de las vainas de los EC dada su amplia resistencia a la corrosión y sus bajas capacidades de absorción de neutrones. La trascendencia de este emprendimiento se pone claramente de manifiesto al considerar que, hacia 1976, dicho material era producido únicamente por tres empresas del extranjero, todas las cuales se habían negado a exportarlo a nuestro país debido a su no adhesión al régimen del TNP. Fue en este contexto entonces que INVAP comenzó a ganar sus primeros laureles cuando, de la mano del Dr. Varotto y de un contado equipo de prominentes científicos, logró dominar la tecnología y poner en funcionamiento, durante 1978, una planta de producción íntegramente nacional.

Concluido este proyecto y motivado por idénticas razones, en el transcurso de tal año comenzó a tomar forma la idea de emprender un nuevo reto: desarrollar el enriquecimiento de uranio. Argentina se había propuesto dominar el ciclo de combustible, y para ello necesitaba el proceso de enriquecimiento que ninguna de las seis o siete naciones poseedoras estaba dispuesta a transferir. No quedaba entonces otra alternativa que hacerlo por mano propia, y nadie más capaz que el INVAP para asumir tal desafío.

Como hemos visto, bajo el resguardo del más profundo secreto se desarrollaron en Pilcaniyeu, los preparativos para llevar adelante una planta piloto bajo el proceso de difusión gaseosa, que era el más asequible en aquella época. Así, en un viejo galpón de esquila, a orillas del río Pichileufu, empezaron a ser montados el conjunto de equipos y la infraestructura necesarios a tal fin, cuyos primeros resultados positivos comenzarían a vislumbrarse hacia febrero de 1981.

No obstante haber representado un gran éxito, esta planta caería tiempo después en el olvido, tanto producto de decisiones políticas internas como debido a factores externos. Entre estos últimos se encuentra, en primer lugar, el desinterés mundial general respecto a la actividad nuclear manifestado luego del accidente de Chernóbil y, en segundo término, el hecho de que, a raíz de la caída del muro de Berlín en 1989 y, en consecuencia, del virtual cese de la Guerra Fría, se abriera el mercado del uranio enriquecido, particularmente el de la URSS.

Un tercer factor trascendente lo constituyen, sin dudas, las exportaciones de reactores de investigación al mundo entero. Volvamos por un instante al triángulo de Sábato, en uno de cuyos

vértices, recordemos, se ubica el Estado. En este sentido, fue precisamente el Estado (específicamente uno de sus componentes, el gobierno nacional en ejercicio) quien le ha encomendado al INVAP la construcción del RA-6 de Bariloche, cuyo notorio éxito ha inspirado el despertar del interés de otros Estados (léase otros gobiernos) por la empresa. Esto difícilmente hubiera ocurrido de no haber brindado una muestra tangible de sus capacidades, lo cual hubiese obstaculizado también la concreción de proyectos en el extranjero pues, como es de suponer, nadie se arriesgaría a comprar un bien de tamaña importancia (y costo) si su funcionamiento no estuviese suficientemente probado.

Aun habiendo competido en licitaciones internacionales con las más importantes empresas del primer mundo sorteando su lobby político, INVAP ha logrado que se le adjudicara la provisión de reactores de investigación a países como Perú (junto con CNEA, para el IPEN, en 1988), Argelia (para su reactor "Nur", en 1989), Egipto (para su reactor ETRR-2, en 1998) y Australia (para su reactor "OPAL", en 2006)[28]. En 2017 ganó la licitación para fabricar el reactor PALLAS para Holanda. El reactor PALLAS reemplazará el actual High Flux Reactor (HFR) en Petten, que es propiedad de la Comisión Europea y está operado por el Nuclear Research and Consultancy Group (NRG). Entró en funcionamiento en el año 1956 y será sacado de servicio cuando PALLAS comience a operar. Actualmente el HFR abastece el 60% del mercado de radioisótopos para medicina nuclear de Europa y es uno de los más grandes productores de radioisótopos a nivel mundial. Es decir que el reactor PALLAS, que se prevé tenga una vida útil de cuarenta años, apenas entre en operación tendrá la responsabilidad de asegurar la continuidad de suministros esenciales para las prácticas médicas del siglo XXI en Europa y el mundo.

Fig. 4.27. Interior del reactor OPAL. Créditos imagen, Australian Nuclear Science and Technology Organization ANSTO.

[28] Acerca de este último caso agregaré algunas reflexiones particulares derivadas de mi relación con la diplomacia australiana y de haber visitado el país. El reactor de Sydney nunca podría haber sido vendido sin la convicción y acción comercial del entonces embajador N. Stancanelli, quien tendió todos los puentes posibles para que la mejor oferta técnica (que sin duda era del INVAP), proveniente de un país en crisis (Argentina 2000) pueda adjudicarse el mayor contrato de exportación de tecnología de su historia.

En el ámbito local, INVAP trabaja junto con la CNEA en el desarrollo del reactor CAREM que, de seguir la misma suerte que el RA-6, podría ser el punto de partida de futuras exportaciones. Paralelamente, la empresa trabaja en el RA-10 y en un gemelo para Brasil. De todas formas, el sector que actualmente se encuentra a la vanguardia es aquel que se ocupa de los proyectos espaciales.

Hacia 1991 la Comisión Nacional de Actividades Espaciales firmó un convenio de cooperación con la NASA norteamericana, cuyo primer fruto para INVAP sería la provisión del satélite SAC-B. Aparecía así, nuevamente, el Estado actuando como comitente a través de la CONAE. En este sentido, cabe destacar también que la generación de un vínculo de confianza entre comitente (CONAE) y comendatario (INVAP) se ha visto facilitada por el hecho que, desde 1994, se encontrara al frente de la CONAE quien fuera fundador de INVAP: el Dr. Conrado Varotto.

SAC-B fue lanzado en 1996 y, si bien su vida fue algo corta (ya que fallaron componentes del cohete Pegasus XL -responsabilidad de la NASA- que debía colocarlo en órbita), igualmente ese tiempo bastó para que quedara demostrado que los sistemas operaban de acuerdo al diseño. A su vez, en paralelo a este proyecto, se desarrollaban el SAC-C y el SAC-A. Este último era un micro satélite que, al igual que el “B”, tenía la misión de ensayar las tecnologías a aplicarse en los satélites de investigación. Puesto en órbita en 1998, en el marco de una exitosa misión de la NASA, SAC-A fue el primer satélite argentino en transmitirnos imágenes de nuestro país. Luego, habiendo acumulado ya una significativa experiencia, en el mes de noviembre del año 2000, se puso en órbita, desde la base aérea de Vandenberg, en California, el SAC-C que, junto con los satélites Landsat 7, EO-1 y Terrra, barren la “constelación matutina”. Valiéndose de poderosas cámaras de alta resolución desarrolladas en Argentina, que constituyen el corazón de la observación.

La información entregada por SAC-C resulta de utilidad en múltiples campos: aéreas forestales, hidrología, oceanografía, control de pesca, estudio de plagas, evaluación de cultivos, gestión incendios, inundaciones, volcanes y una buena cantidad de etcéteras. Tales imágenes son recogidas en la estación de Falda del Carmen, donde se halla el centro de control de misión, con instalaciones también provistas por INVAP, entre otros tantos proveedores.

Es de notar que, debido a su gran éxito, el satélite SAC-C ha sido merecedor del reconocimiento de distintas agencias espaciales. Dicho éxito, por otra parte, ha llevado a que la NASA contratase a INVAP para el desarrollo del SAC-D (lanzado en 2011), cuya finalidad sería llevar como carga útil un instrumento destinado a medir la salinidad marina. Sin dudas, que la NASA decidiera colocar sus equipos en manos del INVAP representaba un significativo voto de confianza hacia tal empresa.

Durante los últimos años, la empresa ha emprendido el diseño, la construcción y operación de tres satélites geoestacionarios propios, ARSAT-1, ARSAT-2 y ARSAT-3, que conforman el Sistema

Satelital Geoestacionario Argentino de Telecomunicaciones (SSGAT), un programa que implica el diseño, la fabricación, la puesta en órbita y la operación de satélites propios con el objeto de incrementar las capacidades de nuestro país en materia de telecomunicaciones, garantizando conectividad de igual calidad a todas las regiones del país. ARSAT -1 y ARSAT -2 fueron lanzados en 2014 y 2015 respectivamente.

Pero sin dudas el programa de mayor impacto es el SAOCOM I y SAOCOM II. De 3 toneladas de peso, fabricado íntegramente en el país, sirve para generar sistemas de alerta temprana de inundaciones, elaborar mapas de riesgo de enfermedades de los cultivos, vigilancia del mar argentino frente a la pesca ilegal, y también para dar soporte a la gestión de emergencias ambientales.

SAOCOM I fue lanzado en 2018 y envía 225 imágenes por día a la estación terrena de Falda del Carmen; operando en Banda "L"[29]. La gran diferencia con las cámaras que poseen es que no necesitan de la luz. La imagen puede atravesar una tormenta e, incluso, penetrar en el terreno hasta metros de profundidad, dependiendo de las características del suelo.

Tan importante ha sido el desarrollo de satélites para la empresa que, en las mismas instalaciones de Bariloche, se construyó una moderna planta de ensayos que tuve oportunidad de visitar en 2014. Allí es posible analizar cómo funcionan grandes equipos y estructuras, vehículos, sensores, sistemas de adquisición de datos, y electrónicos en general, entre otros, ante variaciones en su ambiente debidas a modificaciones en variables como la temperatura, la presión, la humedad, el sonido circundante, las vibraciones del medio y los campos de radiofrecuencia, al tiempo que se analizan los efectos que su propia operación produce en los medios circundantes.

Antes, cada satélite se debía ensayar en el exterior, con los consiguientes costos logísticos. Ahora, se realizan en el país.

La misma área de proyectos espaciales lleva a cabo un ambicioso plan de manufactura de radares motivado por la necesidad de controlar el tráfico aéreo, en razón del cual INVAP ha podido proveer al Estado del Radar Secundario Monopulso Argentino para su instalación en aeropuertos. Para captar señal, estos radares necesitan que la aeronave "quiera" ser detectada, es decir que el trasponder del avión debe estar activado para que éste pueda ser identificado por el radar. Por tal motivo, si bien resultan útiles para la aviación comercial, no podemos decir lo mismo respecto de los vuelos furtivos y, en general, de todos aquellos que no desean ser identificados. Para estos casos, INVAP trabaja en el Radar Primario Argentino tridimensional, del cual varios ya se encuentran operativos, el primero de ellos instalado en Formosa.

[29] La Banda L es un rango de microondas que usa las frecuencias de 1,5 a 2,9 GHz. Solo Japón dispone de satélites con banda L que permiten estudiar la superficie terrestre en general.

Un tercer sector del INVAP a mencionar es aquel que se ocupa del desarrollo de equipamientos médico-científicos. Desde 1985, año en el que la CNEA decidió encarar un programa de aplicaciones médicas con tecnología nuclear, INVAP ha proveído numerosos equipos de cobaltoterapia a instituciones públicas y privadas, nacionales y extranjeras, habiendo exportado a diversas naciones del mundo, entre ellas, Venezuela, Brasil, Bolivia, Egipto, Siria e India. Es así también que todas las provincias argentinas cuentan actualmente con al menos un equipo de terapia radiante en operación. Asimismo, este sector ha construido equipos de irradiación móvil para esterilización y hasta ha incursionado en el campo de las prótesis médicas mediante el empleo de la tecnología del titanio y materiales compuestos.

Se destaca en la actualidad el proyecto firmado en el marco de un acuerdo bilateral con la República de la India sobre usos pacíficos de la energía nuclear; para proveer una planta de producción de radioisótopos llamada RPF-India (por sus siglas en inglés Radioisotope Production Facility) cuyo objetivo es la producción de Molibdeno-99 (Mo-99). La planta utilizará uranio de bajo enriquecimiento mediante el proceso desarrollado por la Comisión Nacional de Energía Atómica de Argentina.

7. CENTRAL ARGENTINA DE ELEMENTOS MODULARES (CAREM)

La futura puesta en servicio del reactor prototipo CAREM es una de las principales apuestas de la CNEA que permitirá tener en operación la primera central nuclear de potencia íntegramente diseñada y construida en el país.

El CAREM utilizará agua liviana para refrigerar un núcleo de 61 elementos combustibles de 1,40 metros de altura, de uranio enriquecido entre 1,1% y 3,1 %, que deberá ser cambiado cada 18 a 20 meses. El reactor, que se construye en la localidad de Lima, próxima a las Centrales Atucha I y II, generará 32 MW eléctricos de potencia y tendrá una vida útil de 30 años, periodo luego del cual, puede realizarse una extensión de vida, con el recambio de algunos componentes.

En la actualidad el grado de avance es de un 62% y se estima su entrada en crítico para 2022. De así lograrse será el primer SMR que entraría en funcionamiento comercial en el mundo y abriría un potencial mercado a las exportaciones de centrales nucleares; siendo el paso lógico luego de 2022 su escalabilidad a los 120 MW. Al ser modular podría proveerse un conjunto máximo de 4 reactores por complejo, con 480 MW disponibles.

- PWR con primario integrado (i-PWR).
- Sistema primario con circulación natural – autopresurizado.
- Mecanismos de control internos.

- Esquema de seguridad inherente basado en sistemas pasivos.
- Diseño modular. Apto para el abastecimiento eléctrico de zonas alejadas o de baja densidad de población.
- Economía de escala. Menor tiempo de montaje. Menor costo financiero.

Remarquemos el tema de la seguridad. Como hemos visto, un reactor PWR funciona con un recipiente de presión en el que se aloja el núcleo radioactivo y se hace circular agua que se calienta al ponerse en contacto con él. Esto es el circuito primario. Luego, el agua debe ser bombeada hacia los recipientes generadores de vapor, por los que circula también agua que se convierte en vapor para mover las turbinas que generan energía eléctrica, lo que se conoce como circuito secundario. Posteriormente, el agua que está en contacto con el núcleo (circuito primario) debe ser presurizada para volver a entrar en el reactor y reiniciar su ciclo.

El CAREM incluye todos estos sistemas adentro de su recipiente de presión y los generadores de vapor también están adentro, por lo cual no es necesario bombear el agua del circuito primario por fuera del mismo, con lo que se eliminan las tuberías de gran tamaño que tienen los reactores PWR y los riesgos de pérdida de agua contaminada y de fallas de la bomba de circulación.

En otro orden el reactor funciona por circulación natural, ya que el núcleo del mismo se encuentra en la parte baja del recipiente de presión mientras que los generadores de vapor están arriba de él. Así, el agua asciende cuando se calienta y se pone en contacto con los generadores de vapor y unas serpentinas dentro de las cuales circula el agua del circuito secundario que será llevada a las turbinas. Al entrar en contacto con los generadores de vapor, el agua se enfría y vuelve a bajar para calentarse nuevamente en el núcleo.

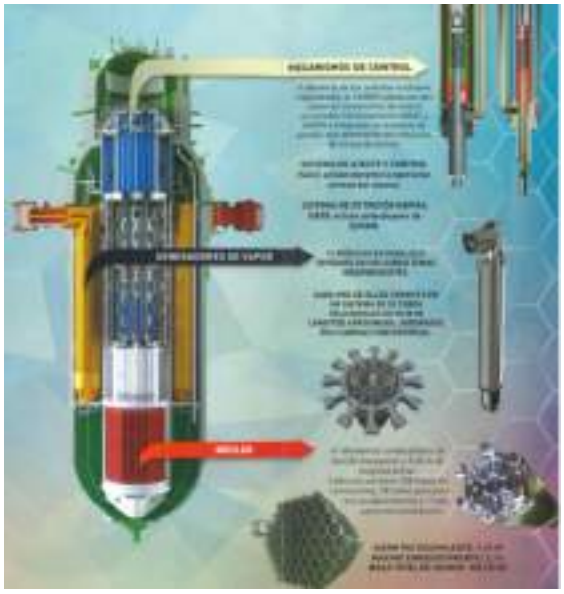


Fig. 4.28. Esquema del reactor CAREM. Mecanismos de control; Generadores de vapor y Núcleo.

Fuente: Folleto de la Gerencia de Proyecto CAREM – CNEA 2014

Al principio del capítulo citamos el pensamiento del profesor Bernardo Houssay sobre la relación bi - unívoca entre desarrollo de la ciencia y nivel jerárquico de una nación. Sin dudas que nuestro país ocupa un sitio prominente en el quehacer de la tecnología nuclear, sitio alcanzado con notable esfuerzo de los recursos humanos formados y de las continuas inversiones, que a pesar de sus vaivenes, consolidaron esa posición.

En publicidad dicen que "*para muestra basta una imagen"*. Finalizamos el apartado con esta figura publicada en numerosas "Memorias y Balances de la Comisión Nacional de Energía Atómica".

Capítulo V

PROSPECTIVA Y REFLEXIONES FINALES.

"Ningún país consumidor de energía puede arreglárselas en un futuro próximo sin una estrategia de seguridad energética en su política exterior".
Ditmar Dirmoser

"Si lo que quieres es encontrar los secretos del universo, piensa en términos de energía, frecuencia y vibración. La ciencia eléctrica nos ha revelado la relación más íntima que existe entre las diferentes fuerzas y fenómenos, y nos ha llevado a una comprensión más completa de la naturaleza y sus múltiples manifestaciones a nuestros sentidos".
Nikola Tesla

1. EL FUTURO MEDIATO DE LA GENERACION NUCLEAR EN EL PLANO INTERNACIONAL

De acuerdo a lo informado por la Agencia Internacional de Energía[1], hay 437 reactores nucleares en operación en el mundo, con una capacidad instalada de 380.250 MWe, Entre los 31 países identificados, 101 reactores se encuentran en los Estados Unidos, 58 en Francia y 33 en Rusia. En la Unión Europea hay 131 reactores instalados (en 14 de los 28 países miembros), con una capacidad total de 122.000 MWe. (1/3 mundial). La mitad de la energía nuclear producida en la Unión Europea proviene de Francia.

Hoy se están construyendo 66 nuevos reactores con una capacidad cercana a los 70.000 MWe, incluyendo 29 en China y 10 en Rusia. 168 nuevos reactores han sido programados, de los cuales 60 son en China, 31 en Rusia y 18 en la India; y también en países con abundantes reservas de hidrocarburos como Arabia Saudita y Emiratos Árabes Unidos. La capacidad nuclear instalada debería pasar de 392 GWe en 2013 a 624 GWe en 2040; a pesar de ello la participación de energía nuclear en el total de electricidad producida, que es actualmente del 11%, apenas superaría el 12%. En valores absolutos, la cantidad de energía nuclear producida crece en forma importante, pero en valores relativos continúa teniendo una modesta participación, ya que al

[1] Ver tabla Capitulo II *Aspectos Básicos de la Tecnología Nuclear y Conceptos de Seguridad*, pp. 46-47.

mismo tiempo hay proyectadas muchas plantas de carbón (principalmente en China) y de gas natural.

Asia muestra el principal crecimiento. China será responsable del 44% de la nueva generación a instalar hacia el 2040; mientras que Rusia, India y Corea del Sur representarán otro 30%. En casi todos estos países que explican el crecimiento de la generación nuclear, las inversiones se realizarán dentro de una economía planificada, donde tanto usuarios consumidores como contribuyentes pagarán las inversiones mediante impuestos; y los precios de la electricidad se subsidiarán sin mercados mayoristas.

En contraposición, la participación nuclear de los países de la OCDE en el total mundial caerá del 80% en 2013, al 52% en 2040. La observación va para EE.UU. donde manda el bajo precio del *shale gas* y para la Unión Europea, como veremos más adelante. No obstante se encuentran cuatro nuevos proyectos en ejecución.

De lo anterior, la primera reflexión. La energía nuclear, como fuente de generación de energía eléctrica se encuentra en una etapa claramente expansiva; principalmente en países que no tienen aún una saturación de esta fuente

Ahora bien, en economías de mercado como la Unión Europea, los bajos precios de la electricidad atentan contra las inversiones en instalaciones convencionales y en particular las de energía nuclear; dado su altísimo costo de capital. La irrupción de las energías renovables que son promocionadas con esquemas comunes como el *feed in tariff* [2] participan con un costo marginal igual a cero, enviando señales distorsionadas a los inversores. Para la energía nuclear, como para las renovables, los costos fijos son considerablemente mayores que los variables. Esto significa que es al menos necesario cubrir los costos variables en los periodos fuera de punta y recuperar todos los costos fijos en los periodos de punta. Para ello se presuponen dos condiciones: (1) los precios de la electricidad deben estar basados en costos marginales, que presumen que los precios de mercado siguen un orden de mérito; y (2) alta disponibilidad de las centrales eléctricas. El problema es que el orden de mérito se ve alterado, porque un considerable volumen de la electricidad (en la UE la proporción de renovables alcanza al 25% de la generación) se remunera fuera del mercado a precios garantizados quitando de esta forma todo sentido a los precios de mercado.

[2] La estructura de precios marginales no permite a los productores de energías renovables recuperar sus costos fijos ya que no generan durante el tiempo suficiente, debido a la naturaleza intermitente del recurso tanto eólico (disponibilidad de los vientos) como solar (disponibilidad de la radiación). Como consecuencia su remuneración queda establecida fuera del mercado. Por lo tanto es necesario considerar el costo del respaldo necesario para compensar la intermitencia, que permitan cubrir las variaciones de generación.

Las centrales procedentes de renovables tienen prioridad en la colocación de mercado, con costos marginales iguales a cero, desplazan a las convencionales y bajan los precios de la electricidad. Pero son intermitentes y deben crear una reserva de capacidad. Precisamente esa reserva de capacidad puede provenir de fuentes nucleares. Pero para ello hay que establecer algún sistema de apoyo.

La generación nuclear es la mayor fuente despachable de electricidad con emisiones de bajo carbono. La mayoría de las plantas nucleares operan en niveles estables cercanos a capacidad plena a los efectos de producir energía de base. Mientras los precios recibidos se mantengan estables, este es el modo más económico de operar.

Ahora para lograr inversiones en estos escenarios es menester algún mecanismo de incentivo que en el Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte, dieron por llamar *Contrato por Diferencias* (CFD) para sus dos nuevos reactores PWR de Hinkley Point, donde Electricite de France (EDF) es la responsable de la construcción, montaje y operación de la planta.

El contrato establece que deberán vender la energía a precio de mercado; pero cuando este precio sea menor al que se considera precio de equilibrio del proyecto, EDF recibirá un pago por encima del precio de mercado equivalente a la diferencia entre ambos precios. Ello durante 35 años de operación. Ahora bien, en forma inversa, si el precio de mercado es mayor que el precio de equilibrio, EDF compartirá sus beneficios; 70% para ellos y 30% para el gobierno del Reino Unido. Y ello aplicable durante 60 años de operación.

El mensaje que se envía así es que se reconoce que una inversión realizada en el sector nuclear no puede ser llevada adelante sin el apoyo gubernamental y perspectivas de rentabilidad en países OCDE, con precios de mercado flotantes para la energía. Los reactores obedecen a una lógica de largo plazo, con vida útil cercana a los setenta años. Los CFD constituyen la herramienta que encontró el Reino Unido para proporcionarle seguridad sobre el retorno del capital al inversor.
El análisis minucioso del mecanismo permite identificar que en los contratos CFD el ingreso percibido se ajusta de forma tal de garantizar una tasa de retorno constante sobre el capital; mientras que el ingreso percibido por mecanismos FIT resulta variable, toda vez que se agrega una prima fija a un precio de venta variable dictado por el mercado mayorista; produciendo también variaciones sobre la tasa de retorno del capital.

En un momento donde las centrales nucleares se encuentran en expansión en el mundo; este es el camino que debe elegir Europa para proporcionarle una misma dinámica y obtener energía de base, complementaria de las renovables y con efectos positivos hacia el cambio climático.

2. LECCIONES APRENDIDAS Y PROSPECTIVA VERNACULA

En el plano nacional el futuro mediato deberá estar dominado por los dos proyectos primarios con potencial de generar divisas: el RA-10 y el CAREM. Es allí donde deben concentrarse los recursos.

En el caso del RA-10 será el principal productor de radioisótopos. El mercado mundial del Molibdeno–99 (Mo-99) que es el trazador más utilizado, está en manos de cuatro / cinco empresas internacionales que dependen a su vez de cuatro / cinco reactores de producción diseminados por el mundo, a fin de proveer a más del 90% del mercado. Varios de esos reactores están muy próximos al final de su vida útil, por cuanto salen de operación con frecuencia y el desabastecimiento es frecuente. No solo el RA-10 podrá abastecer parte importante de estos mercados; sino que su diseño también es exportado generando divisas, como en los casos de Australia y recientemente Holanda. Por otro lado, los procesos de las plantas de producción están asociados a las placas utilizadas de uranio con bajo enriquecimiento, de las cuales Argentina también provee diseño, construcción y montaje; tal como lo hizo en Australia y Egipto.

Asegurar el autoabastecimiento de radioisótopos para el mercado local; exportar al internacional; ampliar la capacidad del desarrollo tecnológico y continuar liderando el exclusivo grupo de países que puede realizar proyectos de EPC[3] en este tipo de reactores. Estas son las premisas que dan sentido al proyecto y que evidencian por qué es tan importante contar con una unidad operativa en nuestro país.

En el caso del CAREM, a partir de la construcción del prototipo, Argentina entrará en el negocio de las centrales de potencia de tamaño pequeño, modular, pero con la posibilidad de construirlas y venderlas en serie. La economía de escala, el menor costo del capital necesario, los sistemas de seguridad pasivos, el diseño simplificado, la capacidad de ubicarse descentralizados, la estandarización de los componentes y el concepto modular, resultan en elementos de peso decisivos para los países que quieran incursionar / ampliar la incidencia nuclear en su matriz.

En el ámbito de la generación nucleoeléctrica, Argentina ha sido siempre más receptor que proveedor de tecnología. La estrategia seguida era comprar una central con transferencia de tecnología; y así poder incrementar la participación. La línea uranio natural – agua pesada facilitó este proceso pues permitió lograr el dominio del ciclo de combustible de forma local. Sin embargo el mundo giró en torno al tándem uranio enriquecido – agua liviana; y con ello se limitaron las capacidades exportadoras de Argentina. Hoy, el CAREM, parece ser la respuesta a un potencial mercado internacional de cientos de millones de dólares, para las próximas décadas. Es el primer SMR que está oficialmente en construcción en el mundo, se perfila como un referente

[3] Acrónimo de *Engineer, Procurement & Construction*. Hace referencia a lo que incluye el contrato: diseño, suministros necesarios y ejecución de toda la obra alcanzada en la especificación técnica.

internacional y consolida un tipo de central nuclear no solo segura y eficiente; sino económica, realizable en corto plazo y competitiva en ámbito mundial.

Claro está, hay que tener uno funcionando prontamente para probarlo y responder algunas incógnitas tanto tecnológicas como comerciales. En ese contexto el financiamiento del Tesoro resulta clave; sin embargo la Resolución 73/2018 de la Secretaría de Energía Eléctrica estableció que sea la operadora de las centrales nucleares (Nucleoeléctrica Argentina S.A) quien a partir de 2019[4] y a través de su remuneración por la energía suministrada; financie los proyectos de inversión dentro de los cuales se encuentra el CAREM. Y si bien este mecanismo es un paso hacia la eficiencia del sector; lo consideramos inoportuno en este caso particular pues es función del Estado asegurar la punta tecnológica, y las perspectivas comerciales históricas que puede producir este SMR.

En cuanto a los proyectos de IV y V central, el Gobierno Nacional ha propuesto una pausa de cinco años en su definición, hasta 2023. Esta decisión hay que descontextualizarla de las pasiones propias de los que defendemos la actividad; ya que cada peso que el Estado Nacional invierte en un lado lo deja hacer en otro; y cada decisión de inversión conlleva la pregunta qué hacemos y qué dejamos de hacer.

Indiscutidamente, tener la capacidad de hacer energía nuclear es algo que no podemos perder. Hoy poseemos la tecnología y la capacidad productiva para fabricar una central PHWR con más del 85% de componentes nacionales. Esto hace que prácticamente no haya salida de divisas; pero en modo alguno significa que un préstamo resuelva todo. Cuando la República Popular China ofreció un crédito por el 85% del valor de la central PHWR, lo hizo supeditado a la compra en mismos términos financieros de una central Hualong I del tipo PWR, en un contrato llave en mano. El objetivo, desde el punto de vista comercial, resulta muy claro para la China National Nuclear Corporation (CNNC) y se centra en tener una central funcionando en Argentina para venderla en la región.

El diseño Hualong I deriva de las centrales francesas de generación II muy probadas en los años ochenta, pero es generación III con más instrumentos de seguridad pasiva que su antecesor. Hoy CNNC tiene ocho reactores bajo un estudio mucho más minucioso en el Reino Unido, varias operando en Asia, pero ninguna en América, donde su principal competidor ROSATOM (Corporación Estatal de Energía Atómica de Rusia) está también cerrando acuerdos de cooperación intergubernamentales.

Esto abre la discusión, puertas adentro del ámbito nuclear, sobre si queremos incursionar en la tecnología de uranio enriquecido moderado por agua natural, con la compra de una central llave

[4] Ya la Ley de Presupuesto 2018, N°27.431 había establecido un crédito inicial para el proyecto por debajo de sus necesidades reales; observándose en la actualidad atrasos en la obra civil como en el contrato del balance de planta del reactor.

en mano donde la participación nacional sea inexistente. El otro debate gira entorno a la ubicación. En ese contexto la pre-selección de la localidad de Sierra Grande en la provincia de Rio Negro generó un intenso debate jurídico, en el cual el municipio quiere la instalación de la central y el poder legislativo provincial se opone. La paradoja se da justamente en Rio Negro, cuna del nacimiento de la tecnología nuclear en Argentina, donde salir de la lógica del turismo en Bariloche y de la producción de frutas de pepita en el Alto Valle, con una central nuclear del lado del Atlántico parecería ser una decisión acertada. Se trata de ochocientos puestos de trabajo directo por más de sesenta años. La segunda paradoja se da con la Ley 5227 sancionada por el Poder Legislativo Provincial que prohíbe la instalación de centrales de generación de energía nucleoeléctrica de potencia, pero exceptúa las plantas de diseño nacional basadas en tecnología CAREM.

Una IV central del tipo PHWR hubiera también tenido externalidades positivas sobre otros dos componentes del subsistema nuclear. Las centrales CANDU como Embalse irradian barras de Cobalto–59 (Co-59) para producir el Cobalto–60 (Co-60); otro radioisótopo muy utilizado en medicina. Argentina participa hoy con el 10% de la producción a escala mundial, utilizando un 12% para consumo interno y un 88% para la exportación. Una segunda central CANDU podría duplicar estos ingresos. El otro efecto positivo es sobre la ENSI.

Dado los inventarios de agua pesada en las centrales actuales, estimando las reposiciones por perdidas normales y adicionando los requerimientos para los reactores de investigación operativos y en construcción; se necesitarían para toda la vida útil de las centrales; entre cuatro y cinco años de operación de la Planta Industrial de Agua Pesada (PIAP). Si estaríamos hablando de una IV central PHWR con reactor CANDU, este periodo se duplica; contando con la carga inicial necesaria. Ahora bien, si la PIAP se abandona hay que comprar el insumo en el exterior.

Probablemente la salida sea encontrar nuevas líneas de negocio para la ENSI o bien una forma de sociedad anónima al estilo de CONUAR, o ambas a la vez. Lo cierto es que utilizar parte de las instalaciones de procesos químicos de la PIAP para producir fertilizantes es una propuesta de hace décadas. La urea es uno de los fertilizantes básicos de la agricultura, siendo Argentina amplio importador pero esto lleva ochocientos millones de dólares de inversión, a valores de 2018; más allá del riesgo tecnológico sobre la capacidad dual del proceso ya que no hay antecedentes en la materia. La urea puede obtenerse a partir del gas natural, insumo por demás abundante a cien kilómetros de distancia en Vaca Muerta[5]. Las otras dos opciones naturales de la ENSI son: 1) la prestación de servicios de ingeniería para el sector hidrocarburífero, que podría verse favorecido

[5] El excepcional yacimiento neuquino tiene un potencial equivalente a 353 TCF en recursos de *shale* y *tight* gas, según los guarismos del Instituto Argentino del Petróleo y del Gas. Esto supera en 30 veces a Loma de la Lata. El principal cuello de botella se da porque no hay manera de sacar la producción cuando se llenan los gasoductos actuales, para ello construir uno nuevo de Neuquén a Bahía Blanca requeriría la misma inversión que re - convertir la PIAP (u$s 800 millones).

por el desarrollo del yacimiento anterior y 2) las exportaciones, que aunque acotadas, pueden aún tener mercado en India (diez reactores PHWR en construcción), Rumania y Canadá.

En cuanto a la minería de uranio, abrir un yacimiento requiere una importante inversión de capital y es un proceso que puede implicar hasta quince años de desarrollo, previo a su puesta en operación. Así mismo los costos asociados a la explotación, como en toda actividad minera, son considerables debido a la maquinaria involucrada.

Las naciones que no poseen yacimientos deben optar por: 1) comprar el mineral en el mercado spot, principalmente a través de empresas que lo extraen de países como Australia y Kazajstán[6]. 2) Dejar la explotación en manos de un operador privado[7], con todas las cláusulas contractuales relativas a la actividad minera y a la licencia ambiental; o 3) Dejar la explotación cien por ciento en manos del Estado, como en China e India, en preferencia de una política dirigida a garantizar el suministro interno y la seguridad geopolítica. En estos casos los costos pasan a un segundo plano. La opción dos parecería ser la acertada para Argentina; y hasta tanto no se materialice se deberá continuar por la uno.

En ese contexto continúa siendo necesario invertir en los procesos que generan valor agregado. La nueva planta de producción de dióxido de uranio de Formosa de DIOXITEK necesita estar operativa para desactivar Córdoba y no perder la capacidad de producción nacional. El proyecto puede modularse para, primero, instalar y poner en operación solo una de las dos líneas programadas. CONUAR y FAE han sido y son ejemplos de la integración del conocimiento brindado por la Comisión Nacional de Energía Atómica y de la gestión privada, lo que les ha permitido alcanzar los más altos estándares de calidad y eficiencia. DIOXITEK podría seguir este camino.

Para avanzar en el ciclo de combustible, Argentina debería dar el paso hacia la utilización de óxidos mixtos. Recordemos que los EE.CC. almacenados tanto en piletas como en silos no son residuos; siguen siendo EE.CC. con potencial de uso y de ellos hay aproximadamente 12.000 unidades en Atucha y 125.000 unidades en Embalse. Las líneas de investigación en uranio enriquecido deben continuar. Sin embargo el armado conjunto con Brasil en la creación de una agencia binacional de producción de uranio enriquecido de uso comercial, parece ser el mejor camino en la actualidad para obtener tanto el combustible grado central (enriquecimiento del 3% al 5%) como para los reactores de investigación (20%). Siempre al amparo del régimen de salvaguardias impuestos por el OIEA. Con ello evitaríamos el oligopolio que tienen cuatro / cinco empresas y se daría fuerza al Art. 4 del TNP con el derecho inalienable de las partes a desarrollar la energía nuclear con fines pacíficos. En el mientras tanto también estaría Rusia como potencial proveedor, tal como fue notificado en la última cumbre del G-20 en Argentina. Anecdóticamente,

[6] Ver Capitulo IV *Perfil Nuclear Argentino*, apartado 3.1.2, pp. 144-145.
[7] Si el Estado posee centrales de potencia tiene preferencia en la compra del mineral.

Rusia fue el proveedor del primer núcleo del RA-3 de Ezeiza con uranio enriquecido al 90%, en 1967.

Todo lo que hemos hablado aquí debe ser fuertemente cimentado, justificado e incluso “vendido” por nuestra Cancillería al exterior. La política exterior nuclear debe estar en manos de la Cancillería, con el apoyo de los científicos. En el pasado fue la Dirección General de Asuntos Nucleares (DIGAN) creada por el embajador Adolfo Saracho; hoy un poco más generalista es la Dirección de Seguridad Internacional, Asuntos Nucleares y Espaciales. De la primera fue discípulo el actual embajador en Austria Rafael Grossi, candidato a dirigir el Organismo Internacional de Energía Atómica, a partir de 2021 y, de ser elegido, el primer latino americano en ocupar esa posición. Sería muy importante para Argentina acceder a la presidencia del organismo, un colorario lógico de toda su trayectoria en materia nuclear que daría un apoyo interesante a la propia actividad en nuestro país.

Por último quiero presentar un cuadro que elaboré en 2015 y que continúa teniendo idéntica vigencia hoy, en 2019. Se trata de un análisis de fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas (FODA) sobre el sector nuclear argentino.

Fig. 5.1. Fuente: R. Cabado 2015.

La mayor fortaleza del sistema ha sido y es tener un plan nuclear en marcha, tanto en líneas de investigación, desarrollo, producción y comercialización de energía nuclear. Lo anterior se sustenta en las excelentes camadas de científicos e ingenieros formadas en los centros de enseñanza de nuestro país; con el Instituto Balseiro a la vanguardia y el reconocimiento mundial como centro de capacitación regional del OIEA. Producto de ambos se da la capacidad exportadora en el único nicho de alta tecnología, con ingreso genuino de divisas de alto valor agregado.

Sin lugar a dudas la principal debilidad está dada por la dimensión de los proyectos en curso. Se trata de muchas obras, muy importantes, lanzadas casi todas al mismo tiempo; lo que hace muy difícil la priorización de recursos. Esto pasó en el plan de 1977 y también en plan de 2006. Consecuencia de lo anterior es el plazo de extensión de las obras, que ante una crisis de financiamiento, se ven demoradas, interrumpidas o abandonadas; con la consiguiente crisis laboral y los costos del capital hundido. En ese sentido Atucha II es un claro ejemplo de cómo no se deben hacer las cosas. Un plan nuclear eficiente y sustentable es aquel que prioriza los proyectos, comienza alguno y deja otros para futuro; pero los que inicia los concluye a término.

En el frente externo la oportunidades estarán dadas por los nuevos actores que incursionarán en la energía nuclear. Argentina es para ellos un potencial proveedor, muy competitivo y con la mejor tecnología en plaza. Lo demuestran tanto los reactores de investigación vendidos como los centros de medicina nuclear. Las aplicaciones médicas seguirán siendo fuente de exportaciones e incluso de formación de profesionales extranjeros. El compromiso mundial con la disminución de gases de efecto invernadero y la tracción de los emergentes serán externalidades positivas para CAREM y RA-10.

Las amenazas, como en cualquier otro frente distinto al nuclear, están dadas en primer lugar por una crisis de crédito y/o un encarecimiento del dinero que requiere conseguir la nación para el desarrollo de inversiones de capital. Este tema de recurrencia en la historia argentina abona aún más la idea expresada en párrafos anteriores sobre la ineludible necesidad de distinguir muy bien los proyectos y acotar los plazos de ejecución. La segunda amenaza se traduce en presiones de naturaleza política. Es aquí donde la Cancillería debe jugar su papel como defensor de los legítimos intereses de la nación sin caer en confrontaciones pírricas con las naciones hegemónicas. Y por último las presiones de los grupos ambientalistas, algunos de ellos con preocupaciones francas y otros opuestos a cualquier desarrollo, muchas veces propiciados por intereses ajenos.

3. ÚLTIMAS CONSIDERACIONES

La energía nuclear es parte de la solución. La generación nucleoeléctrica permite un suministro de base, confiable, libre de gases de efecto invernadero y contribuye a la diversificación de la matriz energética. Repetir sus bondades sería una tautología.

La cartera de energía debe maximizar la seguridad energética de la nación, entendida ésta como la minimización de los riesgos de crisis por medios políticos. El desarrollo nuclear de nuestro país permite no solo independencia en la construcción de centrales nucleares de potencia y en la gestión del ciclo de combustible nuclear; sino también estar a la vanguardia de las aplicaciones tecnológicas y sus exportaciones.

El problema es cómo abordamos la administración de los recursos escasos. Cómo planteamos y cómo priorizamos los escenarios. Porque el impedimento viene principalmente desde el punto de vista económico, y en menor medida desde lo social. Y aquí una crítica, el sector nuclear debe ser un mejor comunicador. Debe derribar mitos, las verdades a medias y los prejuicios instalados en la comunidad, muchas veces por parte de intereses extraños a la legítima defensa del ambiente. No se puede defender lo que no se conoce, y la sociedad argentina cuenta con un alto nivel de desconocimiento sobre los beneficios de las aplicaciones nucleares.

La industria nuclear crea un círculo virtuoso de crecimiento ya que genera capacidades en las tecnologías de sistemas complejos. Dado el carácter acumulativo del conocimiento, proseguir la curva de aprendizaje en el sector puede ser la base para nuevos saltos hacia otras actividades similares. Claro ejemplo de esto es el desarrollo de la industria satelital[8], hija en gran medida del proceso de acumulación de conocimiento del área nuclear. A su vez, la capacidad actual de fabricar radares primarios y secundarios es también, en buena medida, derivada de las destrezas precursoras en el área satelital. Se sucede así un encadenamiento con proveedores y clientes que contribuye a la generación de capital humano y siembra la semilla de posibles derrames tecnológicos que benefician a la competitividad.

Es deber del estadista trazar políticas de estado, entendiendo a estas últimas como aquellas que trascienden gobiernos; y la oposición debe concordar lineamientos básicos, caso contrario a la larga todo resulta en suma cero. Debemos tener respuesta a la pregunta qué país queremos. Si pensamos que el consumo representa una parte muy importante del PBI, y creemos que para aumentar el PBI solo hay que ampliar el consumo, estamos en problemas. Pensemos por un instante que nuestro consumo representa el 100% de nuestro ingreso, sería quimérico deducir que para aumentar uno hay que hacer que aumente el otro. El resultado no sería un aumento de nuestro ingreso sino un endeudamiento creciente para financiar gastos corrientes. No se puede aumentar el consumo sin aumentar el ingreso (o el endeudamiento) y, a nivel agregado, no se puede aumentar el ingreso sin más trabajo genuino, más inversión (verbigracia, más ahorro) y/o mayor productividad.

No somos un país rico, esa es la realidad. Por ello es menester seleccionar muy bien los proyectos que afectarán al gasto público y pensar en el ciudadano; en todos los ciudadanos. Porque el deber máximo del gobernante es lograr el bienestar general de su gente.

Esta crítica subyacente a la racionalidad económica del plan nuclear argentino también hace reflexionar sobre los contra fácticos. ¿Qué hubiese sido del mismo sin el proyecto Huemul? ¿Los países de la periferia tienen otro camino, que no sea a través de las inversiones propias del tesoro nacional, para llegar a competir en los mercados de tecnología de punta? ¿Era posible reducir las

[8] Argentina pertenece al selecto grupo de ocho países que han logrado fabricar sus propios satélites de telecomunicaciones. Los otros siete son: China, EE.UU, India, Israel, Japón, Rusia y la Unión Europea.

ambiciones y aun así haber alcanzado los resultados relevantes logrados? Porque lo cierto es que los hechos demuestran la importancia de Argentina, en el concierto de naciones.

Desde la arena internacional será importante separar los componentes ideológicos que solo han aportado vanos resultados, como la reticencia a firmar el tratado de No Proliferación durante más de dos décadas. El secreto del triunfo para los países de la periferia pasa por no practicar una infecunda rebeldía con los estados centrales; ya que en esa aventura hay más costos por afrontar que beneficios por abrazar. Es más recomendable guardar la capacidad de contienda como si fuese un bien escaso, para utilizarse solo en ocasiones imperiosas. Sobran ejemplos de esto en el mundo. Desde Deng Xiaoping hasta Hu Jintao; China ha decidido no confrontar con EE.UU. Australia, que posee una estrecha relación militar con ese país, notoria en la región de Darwin, tiene como principal socio comercial a China (principal antagónico comercial de los norteamericanos) La teoría de las relaciones internacionales dice que la política exterior debe ser un delicado análisis de efectos positivos y efectos negativos, funcional a una visión de país ciudadano-céntrica. Por aquí incluso está la clave.

Queda así planteado un panorama completo del sector nuclear en este, el trabajo que dimos en llamar "*La Cuestión del Uranio. Estructura del Sistema Internacional y Política de Estado"*. Esperamos que sirva para despertar la inquietud de quienes no conocen la energía nuclear y, para aquellos entendidos en la materia, profundizar su conocimiento.

Ciudad de Buenos Aires, 19 de Marzo de 2019.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Acosta E., Amaya D., Carlevaris R., Patrignani A., Ramilo L., Santecchia A. & Vindrola C. *Reactor CAREM-25. Sistemas Auxiliares Relevantes*. Unidad de Actividad Reactores y Centrales Nucleares. INVAP S.E. / CNEA. CAC.

Acosta, G. (2011). Diseño Conceptual de Cascadas de Enriquecimiento de Uranio. Universidad Nacional de Cuyo.

Allison, G. (1988). La Esencia de la Decisión. Buenos Aires, Argentina: Grupo Editor Latinoamericano.

Aron R. (1997). Estudios Políticos. México: Fondo de Cultura Económica.

Atomic Energy of Canada Ltd. (1990). Nuclear Power in Canada: The CANDU System. Canada.

Atomic Energy of Canada Ltd. (1990). Nuclear Waste Management. Canada.

Atomic Energy of Canada Ltd. (1990). Nuclear Energy: The affordable Option. Canada.

Atomic Energy of Canada Ltd. (1990). The Power of Choice. Canada.

Atomic Energy of Canada Ltd. (1991). This is AECL CANDU. Canada.

Benjamin, M. (1978). Argentina on Threshold of Nuclear Reprocessing, Washington Post, 16 de octubre.

Bologna, A. B. (1991). Dos modelos de inserción de Argentina en el Mundo: Las presidencias de Alfonsín y Menem. Rosario: Cuadernos de Política Exterior, CERIR.

Bouchard, J. (2004). Nuclear Fuel Cycle and Sustainable Development: strategies for the future French Atomic Energy Commission (CEA).

Bremmer, I. (2012). Every Nation for Itself. Winners and Losers in a G-Zero World. New York, United States: Portfolio Trade.

CEARE (2018). La Situación Actual de la Seguridad Energética y su Relación con la Integración Energética. Convenio Específico Ministerio de Energía y Facultad de Derecho UBA.

Carasales, J. C. (1994). Los ejemplares acuerdos Argentina – Brasil sobre Transparencia y Cooperación Nuclear. Buenos Aires, Argentina: Biblioteca del ISEN.

Carasales, J. C. (1995). El Poder de la Presión: La prórroga permanente e incondicionada del TNP. Revista de Estudios Internacionales, N° 112.

Carulla, S. (2003) Principios y Normas Internacionales sobre Seguridad en las Instalaciones Nucleares. Publicado en Revista de Seguridad Nuclear N28 III trimestre.

Casella, V. J. & Faro, H. M. (1988). Ingeniería y Derecho. Tomos I y II. Buenos Aires, Argentina: Ediciones Depalma.

Charpak, J. & Garwin, R. (2001). Megawatts and Megatons. University of Chicago Press.

Clark R. W. (1980). The Greatest Power on Earth: The Story of Nuclear Fission. Londres, Inglaterra.

CNEA, (2014) El Proyecto RA-10. Gerencia de Área Energía Nuclear. Congreso Interamericano de Energía, Bs. As.

CNEA. (1988) Informe del Dr. José Antonio Balseiro referente a la Inspección realizada a la Isla Huemul en Setiembre de 1951. Buenos Aires.

CNEA (2011). Comisión Nacional de Energía Atómica. Memoria y Balance 2011.

CNEA (2012). Comisión Nacional de Energía Atómica. Memoria y Balance 2012.

CNEA (2013). Comisión Nacional de Energía Atómica. Memoria y Balance 2013.

CNEA (2014). Comisión Nacional de Energía Atómica. Memoria y Balance 2014.

CNEA (2014). Comisión Nacional de Energía Atómica. Plan Nuclear en Desarrollo 2010.

Di Tella, G. (1996). Política Exterior Argentina: Actualidad y Perspectivas. La Política exterior argentina y sus protagonistas, 1880 – 1995. Buenos Aires, Argentina: Grupo Editor Latinoamericano.

Domenach, J. (2006). ¿A dónde va China? Colección Paidós Historia Contemporánea. Barcelona, España: Ediciones Paidós Ibérica.

Domínguez, J. (2008). Las relaciones contemporáneas Estados Unidos – América Latina: entre la ideología y el pragmatismo. América Latina: ¿Integración o fragmentación? (Ricardo Lagos, comp.). Buenos Aires, Argentina: Edhasa.

Escude, C. (1995). Relaciones Internacionales de Argentina. América Latina / Internacional. Buenos Aires, Argentina: FLACSO.

Escude, C. (1992). El Realismo Periférico. Buenos Aires, Argentina: Editorial Planeta.

Escude, C. (1995). El Realismo de los Estados Débiles. Buenos Aires, Argentina: Grupo Editor Latinoamericano.

Fairbank, J. K. (1997). China. Una nueva historia. Santiago de Chile/Barcelona: Andrés Bello.

Ferrari, G. (1981). Esquema de la Política Exterior Argentina. Buenos Aires, Argentina: Editorial EUDEBA.

Figari, G. M. (1993). Pasado, Presente y Futuro de la Política Exterior Argentina. Buenos Aires, Argentina: Editorial Biblos.

Fortuny, T. & Bohigas, X. (2015). El fracaso de la Conferencia de revisión del TNP Centre Delàs d'Estudis per la Pau, France.

Groueff, S. (1967). Manhattan Project: The untold story of the making of the bomb. Boston, Estados Unidos.

Hawking, S. (1988). Breve historia del tiempo. Bantam Books.

Herzog, G. & Saurewald, K. (1969). Atom und Strom, Año 15, N°4, Germany.

Hoffmann, S. (1991). Jano y Minerva, Ensayos sobre la Guerra y la Paz. Buenos Aires, Argentina: Grupo Editor Latinoamericano.

Hurtado de Mendoza, D. (2009). Periferia y fronteras tecnológicas. Revista Iberoamericana de ciencia y tecnología v.5 n.13. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Hurtado de Mendoza, D. (2014) El Sueño de la Argentina Atómica. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Edhasa.

IAEA (1998). Status and trends in spent fuel reprocessing. Proceedings of an Advisory Group meeting held in Vienna, 7-10 September.

IAEA. (2007). Management of Reprocessed Uranium, IAEA-TECDOC-1529.

IAEA. (2016). Examen de la Tecnología Nuclear, Informe del Director General, Sexagésima reunión ordinaria Conferencia General, IAEA. GC (60)/INF/2

International Atomic Energy Agency (1999). Treaty on the Non Proliferation of Nuclear Weapons. Bruselas, Bélgica.

Institution of Electrical Engineers (1993). Nuclear Reactor Types. London.

International Panel on Fissile Materials IPFM (2008). Global Fissile Material Report 2008, Program on Science and Global Security, Princeton University.

Jungk, R. (1956). Más luminoso que mil soles. Stuttgart. Germany.

Kant, I. (1974). La Paz Perpetua. New York, United States. Editorial Peter Gay.

Keohane, R. & Nye, J. (1977). Realismo e Interdependencia Compleja. World Politics in Transition. Boston, Estados Unidos: Harvard University Press.

Kile & Kristensen (2017). Trends in World Nuclear Forces. Stockholm International Peace and Research Institute.

Kraftwerk Union Aktiengesellschaft. (1986). Central Nuclear Atucha I. Germany.

Kraftwerk Union Aktiengesellschaft. (1987). Central Nuclear Atucha I. Germany.

Kraftwerk Union Aktiengesellschaft. (1982). Central Nuclear Atucha I con Reactor de Agua Pesada. Publicación Oficial del grupo KWU. Germany.

Kraftwerk Union Aktiengesellschaft. (1982). Central Nuclear Atucha II con Reactor de Agua Pesada. Publicación Oficial del grupo KWU. Germany.

Kraftwerk Union Aktiengesellschaft. (1984). Central Nuclear con Reactor de Agua a Presión. Publicación Oficial del grupo KWU. Germany.

Kraftwerk Union Aktiengesellschaft. (1982). La Central Nuclear Estandarizada de 1300 MW. Publicación Oficial de grupo KWU. Germany.

Kraftwerk Union Aktiengesellschaft. (1982). Cooperación con la República Argentina en el sector de la Energía Nuclear. Publicación Oficial del grupo KWU. Germany.

Kramis, A. (1959). Atomic Energy in the Soviet Union. Stanford University Press.

Lopez Dávalos, A. & Badino, N. (2000). J. A. Balseiro: crónica de una ilusión. Una historia de la física en la Argentina. México - Buenos Aires, Fondo de Cultura Económica.

López, A; Pascuini, P. & Ramos, A. (2017). Al Infinito y más Allá. Universidad de Buenos Aires, CONICET.

Maghroori, R. & Ramberg, B. (1982). Globalism versus realism: international relations' third debate. Westview Press.

Malena, J. E. (2010). China: la construcción de un "país grande". Buenos Aires, Argentina: Céfiro.

Malinow, G. (2014). Una mirada de largo plazo sobre la hidroelectricidad en la Argentina, Buenos Aires, noviembre de 2014.

Mantoux, P. (1961). The industrial revolution in the eighteenth century. Routledge Publish, London. ISBN 9781138861756

Mariscotti, M. (1985). El Secreto Atómico de Huemul. Buenos Aires, Argentina: Editorial Sudamericana – Planeta.

Morgenthau, H. J. (1963). La Lucha por el Poder y La Paz. Buenos Aires, Argentina: Editorial Sudamericana.

Organización de Naciones Unidas ONU (2005). International Convention for the Suppression of Acts of Nuclear Terrorism. New York, USA.

Organización de Naciones Unidas ONU (1969). Convención de Viena sobre Derecho de los Tratados, adoptada el 23 de mayo de 1969, United Nations Treaty Series, Vol. 75.

Organization for Economic Co-Operation and Development OECD (2012). Nuclear Energy and Renewables: System Effects in Low-carbon Electricity Systems. Nuclear Energy Agency.

Paradiso, J. (1993). Debates y Trayectoria de la Política Exterior Argentina. Buenos Aires, Argentina: Grupo Editor Latinoamericano.

Percebois, J. (2016). Competitividad de la Energía Nuclear: ¿Precios de Mercado o Tarifas Reguladas? Universidad de Montpellier (UMR CNRS Art-Dev) – Cátedra de Economía Climática (Universidad de Paris-Dauphine), Facultad de Ciencias Económicas, Montpellier, Francia.

Puig, J. C. (1984). La Política Exterior Argentina: Incongruencia epidérmica y coherencia estructural. Buenos Aires, Argentina: Grupo Editor Latinoamericano.

Radicella, R. (2001). Peruvian Project, en R. Ornstein (coord.): Argentina as an exporter of nuclear technology. Past, present and future, Buenos Aires, Consejo Argentino para la Relaciones Internacionales.

Rivarola, M. (2005). Plantas de Enriquecimiento de Uranio con Tecnología SIGMA. Universidad Nacional de Cuyo.

Russell, R. (1994). El Contexto Externo de la Política Exterior Argentina: Notas sobre el Nuevo Orden Mundial. Buenos Aires, Argentina: Biblioteca del ISEN.

Russell, R. (1994). Los Ejes Estructurantes de la Política Exterior Argentina. América Latina Internacional. Volumen 1 N° 22. Buenos Aires, Argentina: FLACSO.

Russell, R. (1990). Política Exterior y Toma de Decisiones en América Latina. Buenos Aires, Argentina: Grupo Editor Latinoamericano.

Russell, R. (1996). Las relaciones argentino – norteamericanas. Buenos Aires, Argentina: Biblioteca del ISEN.

Sábato, Jorge (2014). Estado, Política y Gestión de la Tecnología. Obras Escogidas (1962 – 1983) UNSAM.

Sakharov, A. (1990). Memories. New York, United States: Alfred A. Knopf.

Simpson, M. & Law, J. (2010). Nuclear Fuel Reprocessing. Idaho National Laboratory.

Stoiber, Bael, Pelzer & Tonhauser (2006). Manual de Derecho Nuclear. International Atomic Energy Agency.

Szilard, L. (1972). His version of the facts. Cambridge: MIT press.

Nuclear Weapon Archive (2010). The Soviet Weapons Program: The Tsar Bomb. The Nuclear Weapon Archive. 3 September 2007. Retrieved 23 August 2010.

Tulchin, J. S. (1990). La Argentina y los Estados Unidos: Historia de una Desconfianza. Buenos Aires, Argentina: Editorial Planeta.

United Sates Nuclear Regulatory Commission (2016). Almacenaje en Barricas Secas de Combustible Nuclear Gastado. Bulletin 301-415-8200. Office of Public Affairs.

United States Nuclear Regulatory Commission (2016). Nuclear Regulatory Legislation, 112th Congress; NUREG-0980, Vol. 3, No. 10

Varotto, C. (2008). Acceso al Espacio: Una necesidad Nacional. CONAE,

Waltz, K. (1994). El Nuevo Orden Mundial. Revista América Latina internacional, Volumen 1, N° 2.

Welsome, E. (1999). The Plutonium Files. The Dial Press.

World Nuclear Association (2018). World Nuclear Performance Report 2018.Report No. 2018/004

Yager, J. (1984). Energía Nuclear. Buenos Aires, Argentina: Editorial Fraterna.

ANEXOS[1]

1. TREATY ON THE NON-PROLIFERATION OF NUCLEAR WEAPONS

The States concluding this Treaty, hereinafter referred to as the "Parties to the Treaty",

Considering the devastation that would be visited upon all mankind by a nuclear war and the consequent need to make every effort to avert the danger of such a war and to take measures to safeguard the security of peoples,

Believing that the proliferation of nuclear weapons would seriously enhance the danger of nuclear war,

In conformity with resolutions of the United Nations General Assembly calling for the conclusion of an agreement on the prevention of wider dissemination of nuclear weapons,

Undertaking to co-operate in facilitating the application of International Atomic Energy Agency safeguards on peaceful nuclear activities,

Expressing their support for research, development and other efforts to further the application, within the framework of the International Atomic Energy Agency safeguards system, of the principle of safeguarding effectively the flow of source and special fissionable materials by use of instruments and other techniques at certain strategic points,

Affirming the principle that the benefits of peaceful applications of nuclear technology, including any technological by-products which may be derived by nuclear-weapon States from the development of nuclear explosive devices, should be available for peaceful purposes to all Parties to the Treaty, whether nuclear-weapon or non-nuclear-weapon States,

Convinced that, in furtherance of this principle, all Parties to the Treaty are entitled to participate in the fullest possible exchange of scientific information for, and to contribute alone or in co-operation with other States to, the further development of the applications of atomic energy for peaceful purposes,

Declaring their intention to achieve at the earliest possible date the cessation of the nuclear arms race and to undertake effective measures in the direction of nuclear disarmament,

Urging the co-operation of all States in the attainment of this objective,

Recalling the determination expressed by the Parties to the 1963 Treaty banning nuclear weapons tests in the atmosphere, in outer space and under water in its Preamble to seek to achieve the discontinuance of all test explosions of nuclear weapons for all time and to continue negotiations to this end,

Desiring to further the easing of international tension and the strengthening of trust between States in order to facilitate the cessation of the manufacture of nuclear weapons, the liquidation of all their existing stockpiles, and the elimination from national arsenals of nuclear weapons and the means of their delivery pursuant to a Treaty on general and complete disarmament under strict and effective international control,

[1] Los ANEXOS I, II y III fueron extraídos del sitio oficial del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA): https://www.iaea.org/es/recursos/tratados. A efectos de su correcta interpretación se reproducen en forma textual y con el formato de origen.

Recalling that, in accordance with the Charter of the United Nations, States must refrain in their international relations from the threat or use of force against the territorial integrity or political independence of any State, or in any other manner inconsistent with the Purposes of the United Nations, and that the establishment and maintenance of international peace and security are to be promoted with the least diversion for armaments of the world's human and economic resources,

Have agreed as follows:

Article I

Each nuclear-weapon State Party to the Treaty undertakes not to transfer to any recipient whatsoever nuclear weapons or other nuclear explosive devices or control over such weapons or explosive devices directly, or indirectly; and not in any way to assist, encourage, or induce any non-nuclear-weapon State to manufacture or otherwise acquire nuclear weapons or other nuclear explosive devices, or control over such weapons or explosive devices.

Article II

Each non-nuclear-weapon State Party to the Treaty undertakes not to receive the transfer from any transferor whatsoever of nuclear weapons or other nuclear explosive devices or of control over such weapons or explosive devices directly, or indirectly; not to manufacture or otherwise acquire nuclear weapons or other nuclear explosive devices; and not to seek or receive any assistance in the manufacture of nuclear weapons or other nuclear explosive devices.

Article III

1. Each non-nuclear-weapon State Party to the Treaty undertakes to accept safeguards, as set forth in an agreement to be negotiated and concluded with the International Atomic Energy Agency in accordance with the Statute of the International Atomic Energy Agency and the Agency's safeguards system, for the exclusive purpose of verification of the fulfilment of its obligations assumed under this Treaty with a view to preventing diversion of nuclear energy from peaceful uses to nuclear weapons or other nuclear explosive devices. Procedures for the safeguards required by this Article shall be followed with respect to source or special fissionable material whether it is being produced, processed or used in any principal nuclear facility or is outside any such facility. The safeguards required by this Article shall be applied on all source or special fissionable material in all peaceful nuclear activities within the territory of such State, under its jurisdiction, or carried out under its control anywhere.

2. Each State Party to the Treaty undertakes not to provide: (a) source or special fissionable material, or (b) equipment or material especially designed or prepared for the processing, use or production of special fissionable material, to any non-nuclear-weapon State for peaceful purposes, unless the source or special fissionable material shall be subject to the safeguards required by this Article.

3. The safeguards required by this Article shall be implemented in a manner designed to comply with Article IV of this Treaty, and to avoid hampering the economic or technological development of the Parties or international co-operation in the field of peaceful nuclear activities, including the international exchange of nuclear material and equipment for the processing, use or production of nuclear material for peaceful purposes in accordance with the provisions of this Article and the principle of safeguarding set forth in the Preamble of the Treaty.

4. Non-nuclear-weapon States Party to the Treaty shall conclude agreements with the International Atomic Energy Agency to meet the requirements of this Article either individually or together with other States in accordance with the Statute of the International Atomic Energy Agency. Negotiation of such agreements shall commence within 180 days from the original entry into force of

this Treaty. For States depositing their instruments of ratification or accession after the 180-day period, negotiation of such agreements shall commence not later than the date of such deposit. Such agreements shall enter into force not later than eighteen months after the date of initiation of negotiations.

Article IV

1. Nothing in this Treaty shall be interpreted as affecting the inalienable right of all the Parties to the Treaty to develop research, production and use of nuclear energy for peaceful purposes without discrimination and in conformity with Articles I and II of this Treaty.

2. All the Parties to the Treaty undertake to facilitate, and have the right to participate in, the fullest possible exchange of equipment, materials and scientific and technological information for the peaceful uses of nuclear energy. Parties to the Treaty in a position to do so shall also co-operate in contributing alone or together with other States or international organizations to the further development of the applications of nuclear energy for peaceful purposes, especially in the territories of non-nuclear-weapon States Party to the Treaty, with due consideration for the needs of the developing areas of the world.

Article V

Each Party to the Treaty undertakes to take appropriate measures to ensure that, in accordance with this Treaty, under appropriate international observation and through appropriate international procedures, potential benefits from any peaceful applications of nuclear explosions will be made available to non-nuclear-weapon States Party to the Treaty on a non-discriminatory basis and that the charge to such Parties for the explosive devices used will be as low as possible and exclude any charge for research and development. Non-nuclear-weapon States Party to the Treaty shall be able to obtain such benefits, pursuant to a special international agreement or agreements, through an appropriate international body with adequate representation of non-nuclear-weapon States. Negotiations on this subject shall commence as soon as possible after the Treaty enters into force. Non-nuclear-weapon States Party to the Treaty so desiring may also obtain such benefits pursuant to bilateral agreements.

Article VI

Each of the Parties to the Treaty undertakes to pursue negotiations in good faith on effective measures relating to cessation of the nuclear arms race at an early date and to nuclear disarmament, and on a treaty on general and complete disarmament under strict and effective international control.

Article VII

Nothing in this Treaty affects the right of any group of States to conclude regional treaties in order to assure the total absence of nuclear weapons in their respective territories.

Article VIII

1. Any Party to the Treaty may propose amendments to this Treaty. The text of any proposed amendment shall be submitted to the Depositary Governments which shall circulate it to all Parties to the Treaty. Thereupon, if requested to do so by one-third or more of the Parties to the Treaty, the Depositary Governments shall convene a conference, to which they shall invite all the Parties to the Treaty, to consider such an amendment.

2. Any amendment to this Treaty must be approved by a majority of the votes of all the Parties to the Treaty, including the votes of all nuclear-weapon States Party to the Treaty and all other Parties which, on the date the amendment is circulated, are members of the Board of Governors of the International Atomic Energy Agency. The amendment shall enter into force for each Party that deposits its instrument of ratification of the amendment upon the deposit of such instruments of ratification by a majority of all the Parties, including the instruments of ratification of all nuclear-weapon States Party to the Treaty and all other Parties which, on the date the amendment is circulated, are members of the Board of Governors of the International Atomic Energy Agency. Thereafter, it shall enter into force for any other Party upon the deposit of its instrument of ratification of the amendment.

3. Five years after the entry into force of this Treaty, a conference of Parties to the Treaty shall be held in Geneva, Switzerland, in order to review the operation of this Treaty with a view to assuring that the purposes of the Preamble and the provisions of the Treaty are being realised. At intervals of five years thereafter, a majority of the Parties to the Treaty may obtain, by submitting a proposal to this effect to the Depositary Governments, the convening of further conferences with the same objective of reviewing the operation of the Treaty.

Article IX

1. This Treaty shall be open to all States for signature. Any State which does not sign the Treaty before its entry into force in accordance with paragraph 3 of this Article may accede to it at any time.

2. This Treaty shall be subject to ratification by signatory States. Instruments of ratification and instruments of accession shall be deposited with the Governments of the United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland, the Union of Soviet Socialist Republics and the United States of America, which are hereby designated the Depositary Governments.

3. This Treaty shall enter into force after its ratification by the States, the Governments of which are designated Depositaries of the Treaty, and forty other States signatory to this Treaty and the deposit of their instruments of ratification. For the purposes of this Treaty, a nuclear-weapon State is one which has manufactured and exploded a nuclear weapon or other nuclear explosive device prior to 1 January 1967.

4. For States whose instruments of ratification or accession are deposited subsequent to the entry into force of this Treaty, it shall enter into force on the date of the deposit of their instruments of ratification or accession.

5. The Depositary Governments shall promptly inform all signatory and acceding States of the date of each signature, the date of deposit of each instrument of ratification or of accession, the date of the entry into force of this Treaty, and the date of receipt of any requests for convening a conference or other notices.

6. This Treaty shall be registered by the Depositary Governments pursuant to Article 102 of the Charter of the United Nations.

Article X

1. Each Party shall in exercising its national sovereignty have the right to withdraw from the Treaty if it decides that extraordinary events, related to the subject matter of this Treaty, have jeopardized the supreme interests of its country. It shall give notice of such withdrawal to all other Parties to the Treaty and to the United Nations Security Council three months in advance. Such notice shall include a statement of the extraordinary events it regards as having jeopardized its supreme interests.

2. Twenty-five years after the entry into force of the Treaty, a conference shall be convened to decide whether the Treaty shall continue in force indefinitely, or shall be extended for an additional fixed period or periods. This decision shall be taken by a majority of the Parties to the Treaty.

Article XI

This Treaty, the English, Russian, French, Spanish and Chinese texts of which are equally authentic, shall be deposited in the archives of the Depositary Governments. Duly certified copies of this Treaty shall be transmitted by the Depositary Governments to the Governments of the signatory and acceding States.

IN WITNESS WHEREOF the undersigned, duly authorized, have signed this Treaty.

DONE in triplicate, at the cities of London, Moscow and Washington, this first day of July, one thousand nine hundred and sixty-eight.

2. TRATADO DE TLATELOLCO

Preámbulo

En nombre de sus pueblos e interpretando fielmente sus anhelos y aspiraciones, los Gobiernos de los Estados Signatarios del Tratado para la Proscripción de las Armas Nucleares en la América Latina y el Caribe;

Deseosos de contribuir, en la medida de sus posibilidades, a poner fin a la carrera de armamentos, especialmente los nucleares, y a la consolidación de un mundo en paz, fundada en la igualdad soberana de los Estados, el respeto mutuo y la buena vecindad;

Recordando que la Asamblea General de las Naciones Unidas, en su Resolución 808 (IX), aprobó unánimemente, como uno de los tres puntos de un programa coordinado de desarme, "la prohibición total del empleo y la fabricación de armas nucleares y de todos los tipos de armas de destrucción en masa";

Recordando que las zonas militarmente desnuclearizadas no constituyen un fin en sí mismas, sino un medio para alcanzar en una etapa ulterior el desarme general y completo;

Recordando la Resolución 1911 (XVIII) de la Asamblea General de las Naciones Unidas, por la que se estableció que las medidas que convenga acordar para la desnuclearización de la América Latina y el Caribe deben tomarse "a la luz de los principios de la Carta de las Naciones Unidas y de los acuerdos regionales";

Recordando la Resolución 2028 (XX) de la Asamblea General de las Naciones Unidas que establece el principio de un equilibrio aceptable de responsabilidades y obligaciones mutuas para las potencias nucleares y las no nucleares, y

Recordando que la Carta de la Organización de los Estados Americanos establece como propósito esencial de la Organización afianzar la paz y la seguridad del hemisferio;

Persuadidos de que:

El incalculable poder destructor de las armas nucleares ha hecho imperativo que la proscripción jurídica de la guerra sea estrictamente observada en la práctica, si ha de asegurarse la supervivencia de la civilización y de la propia humanidad;

Las armas nucleares, cuyos terribles efectos alcanzan indistinta e ineludiblemente tanto a las fuerzas militares como a la población civil, constituyen, por la persistencia de la radiactividad que generan, un atentado a la integridad de la especie humana y aún pueden tornar finalmente toda la Tierra inhabitable;

El desarme general y completo bajo control internacional eficaz es cuestión vital que reclaman por igual todos los pueblos del mundo;

La proliferación de las armas nucleares, que parece inevitable a menos que los Estados, en uso de sus derechos soberanos, se auto-limiten para impedirla, dificultaría enormemente todo acuerdo de desarme y aumentaría el peligro de que llegue a producirse una conflagración nuclear;

El establecimiento de zonas militarmente desnuclearizadas está íntimamente vinculado al mantenimiento de la paz y la seguridad en las respectivas regiones;

La desnuclearización militar de vastas zonas geográficas, adoptada por la decisión soberana de los Estados en ellas comprendidos, habrá de ejercer benéfica influencia en favor de otras regiones, donde existan condiciones análogas;

La situación privilegiada de los Estados Signatarios, cuyos territorios se encuentran totalmente libres de armas nucleares, les impone el deber ineludible de preservar tal situación, tanto en beneficio propio como en bien de la humanidad;

La existencia de armas nucleares en cualquier país de la América Latina y el Caribe lo convertiría en blanco de eventuales ataques nucleares y provocaría fatalmente en toda la región una ruinosa carrera de armamentos nucleares, que implicaría la injustificable desviación hacia fines bélicos de los limitados recursos necesarios para el desarrollo económico y social;

Las razones expuestas y la tradicional vocación pacifista de la América Latina y el Caribe determinan la necesidad ineludible de que la energía nuclear sea usada en esta región exclusivamente para fines pacíficos, y de que los países latinoamericanos y del Caribe utilicen su derecho al máximo y más equitativo acceso posible a esta nueva fuente de energía para acelerar el desarrollo económico y social de sus pueblos;

Convencidos, en conclusión, de que:

La desnuclearización militar de la América Latina y el Caribe -entendiendo por tal el compromiso internacionalmente contraído en el presente Tratado de mantener sus territorios libres para siempre de armas nucleares- constituirá una medida que evite a sus pueblos el derroche, en armamento nuclear, de sus limitados recursos y que los proteja contra eventuales ataques nucleares a sus territorios; una significativa contribución para impedir la proliferación de armas nucleares, y un valioso elemento en favor del desarme general y completo, y de que

La América Latina y el Caribe, fiel a su tradición universalista, no sólo debe esforzarse en proscribir de ella el flagelo de una guerra nuclear, sino también empeñarse en la lucha por el bienestar y progreso de sus pueblos, cooperando paralelamente a la realización de los ideales de la humanidad, o sea a la consolidación de una paz permanente fundada en la igualdad de derechos, la equidad económica y la justicia social para todos, de acuerdo con los Principios y Propósitos consagrados en la Carta de las Naciones Unidas, y en la Carta de la Organización de los Estados Americanos,

Han convenido en lo siguiente:

Obligaciones

Artículo 1

1. Las Partes Contratantes se comprometen a utilizar exclusivamente con fines pacíficos el material y las instalaciones nucleares sometidos a su jurisdicción, y a prohibir e impedir en sus respectivos territorios:

a. El ensayo, uso, fabricación, producción o adquisición, por cualquier medio, de toda arma nuclear, por sí mismas, directa o indirectamente, por mandato de terceros o en cualquier otra forma, y

b. El recibo, almacenamiento, instalación, emplazamiento o cualquier forma de posesión de toda arma nuclear, directa o indirectamente, por sí mismas, por mandato a terceros o de cualquier otro modo.

2. Las Partes Contratantes se comprometen, asimismo, a abstenerse de realizar, fomentar o autorizar, directa o indirectamente, el ensayo, el uso, la fabricación, la producción, la posesión o el dominio de toda arma nuclear o de participar en ello de cualquier manera.

Definición de Partes Contratantes

Artículo 2

Para los fines del presente Tratado, son Partes Contratantes aquéllas para las cuales el Tratado está en vigor.

Definición de territorio

Artículo 3

Para todos los efectos del presente Tratado, deberá entenderse que el término “territorio” incluye el mar territorial, el espacio aéreo y cualquier otro ámbito sobre el cual el Estado ejerza soberanía, de acuerdo con su propia legislación.

Zona de aplicación

Artículo 4

1. La Zona de aplicación del presente Tratado es la suma de los territorios para los cuales el presente instrumento está en vigor.

2. Al cumplirse las condiciones previstas en el Artículo 29, párrafo 1, la Zona de aplicación del presente Tratado será, además, la situada en el hemisferio Occidental dentro de los siguientes límites (excepto la parte del territorio continental y aguas territoriales de los Estados Unidos de América): comenzando en un punto situado a 35º latitud norte y 75º longitud oeste; desde allí directamente al sur hasta un punto a 30º latitud norte y 75º longitud oeste; desde allí directamente al este hasta un punto a 30º latitud norte y 50º longitud oeste; desde allí por una línea loxodrómica hasta un punto a 5º latitud norte y 20º longitud oeste; desde allí directamente al sur hasta un punto a 60º latitud sur y 20º longitud oeste; desde allí directamente al oeste hasta un punto a 60º latitud sur y 115º longitud oeste; desde allí directamente al norte hasta un punto a 0º latitud y 115º longitud oeste; desde allí por una línea loxodrómica hasta un punto a 35º latitud norte y 150º longitud oeste; desde allí directamente al este hasta un punto a 35º latitud norte y 75º longitud oeste.

Definición de las armas nucleares

Artículo 5

Para los efectos del presente Tratado, se entiende por "arma nuclear" 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. El instrumento que pueda utilizarse para el transporte o la propulsión del artefacto no queda comprendido en esta definición si es separable del artefacto y no parte indivisible del mismo.

Reunión de Signatarios

Artículo 6

A petición de cualquiera de los Estados Signatarios, o por decisión del Organismo que se establece en el Artículo 7, se podrá convocar a una reunión de todos los Signatarios para considerar en común cuestiones que puedan afectar a la esencia misma de este instrumento, inclusive su eventual modificación. En ambos casos la convocación se hará por intermedio del Secretario General.

Organización

Artículo 7

1. Con el fin de asegurar el cumplimiento de las obligaciones del presente Tratado, las Partes Contratantes establecen un organismo internacional denominado "Organismo para la Proscripción de las Armas Nucleares en la América Latina y el Caribe", al que en el presente Tratado se designará como "el Organismo". Sus decisiones sólo podrán afectar a las Partes Contratantes.

2. El Organismo tendrá a su cargo la celebración de consultas periódicas o extraordinarias entre los Estados Miembros en cuanto se relacione con los propósitos, las medidas y los procedimientos determinados en el presente Tratado y la supervisión del cumplimiento de las obligaciones derivadas del mismo.

3. Las Partes Contratantes convienen en prestar al Organismo amplia y pronta colaboración de conformidad con las disposiciones del presente Tratado y de los acuerdos que concluyan con el Organismo, así como los que éste último concluya con cualquier otra organización u organismo internacional.

4. La sede del Organismo será la ciudad de México.

Órganos

Artículo 8

1. Se establecen como órganos principales del Organismo una Conferencia General, un Consejo y una Secretaría.

2. Se podrán establecer, de acuerdo con las disposiciones del presente Tratado, los órganos subsidiarios que la Conferencia General estime necesarios.

La Conferencia General

Artículo 9

1. La Conferencia General, órgano supremo del Organismo, estará integrada por todas las Partes Contratantes, y celebrará cada dos años reuniones ordinarias, pudiendo, además, realizar reuniones extraordinarias, cada vez que así esté previsto en el presente Tratado, o que las circunstancias lo aconsejen a juicio del Consejo.

2. La Conferencia General:

a. Podrá considerar y resolver dentro de los límites del presente Tratado cualesquier asunto o cuestiones comprendidos en él, incluyendo los que se refieran a los poderes y funciones de cualquier órgano previsto en el mismo Tratado.

b. Establecerá los procedimientos del Sistema de Control para la observancia del presente Tratado, de conformidad con las disposiciones del mismo.

c. Elegirá a los Miembros del Consejo y al Secretario General.

d. Podrá remover al Secretario General cuando así lo exija el buen funcionamiento del Organismo.

e. Recibirá y considerará los informes bienales o especiales que rindan el Consejo y el Secretario General.

f. Promoverá y considerará estudios para la mejor realización de los propósitos del presente Tratado, sin que ello obste para que el Secretario General, separadamente, pueda efectuar estudios semejantes y someterlos para su examen a la Conferencia.

g. Será el órgano competente para autorizar la concertación de acuerdos con gobiernos y con otras organizaciones y organismos internacionales.

3. La Conferencia General aprobará el presupuesto del Organismo y fijará la escala de las cuotas financieras que los Estados Miembros deberán cubrir, teniendo en consideración los sistemas y criterios utilizados para el mismo fin por la Organización de las Naciones Unidas.

4. La Conferencia General elegirá sus autoridades para cada reunión, y podrá establecer los órganos subsidiarios que estime necesarios para el desempeño de sus funciones.

5. Cada Miembro del Organismo tendrá un voto. Las decisiones de la Conferencia General, en cuestiones relativas al Sistema de Control y a las medidas que se refieran al Artículo 20, la admisión de nuevos Miembros, la elección y remoción del Secretario General, la aprobación del presupuesto y de las cuestiones relativas al mismo, se tomarán por el voto de una mayoría de dos tercios de los Miembros presentes y votantes. Las decisiones sobre otros asuntos, así como las cuestiones de procedimiento y también la determinación de las que deban resolverse por mayoría de dos tercios, se tomarán por la mayoría simple de los Miembros presentes y votantes.

6. La Conferencia General adoptará su propio Reglamento.

El Consejo

Artículo 10

1. El Consejo se compondrá de cinco Miembros, elegidos por la Conferencia General de entre las Partes Contratantes teniendo debidamente en cuenta la representación geográfica equitativa.

2. Los Miembros del Consejo serán elegidos por un período de cuatro años. Sin embargo, en la primera elección tres serán elegidos por dos años. Los Miembros salientes no serán reelegibles para el período subsiguiente, a menos que el número de Estados para los cuales el Tratado entre en vigor no lo permitiese.

3. Cada Miembro del Consejo tendrá un Representante.

4. El Consejo será organizado de modo que pueda funcionar continuamente.

5. Además de las atribuciones que le confiere el presente Tratado y de las que le asigne la Conferencia General, el Consejo, a través del Secretario General, velará por el buen funcionamiento del Sistema de Control, de acuerdo con las disposiciones del presente Tratado y con las decisiones adoptadas por la Conferencia General.

6. El Consejo rendirá a la Conferencia General un Informe anual sobre sus actividades, así como los informes especiales que considere convenientes o que la Conferencia General le solicite.

7. El Consejo elegirá sus autoridades para cada reunión.

8. Las decisiones del Consejo se tomarán por el voto de una mayoría simple de sus miembros presentes y votantes.

9. El Consejo adoptará su propio Reglamento.

La Secretaría

Artículo 11

1. La Secretaría se compondrá de un Secretario General, que será el más alto funcionario administrativo del Organismo, y del personal que éste requiera. El Secretario General durará en su cargo un período de cuatro años, pudiendo ser reelecto por un período único adicional. El Secretario General no podrá ser nacional del país sede del Organismo. En caso de falta absoluta del Secretario General, se procederá a una nueva elección por el resto del período.

2. El personal de la Secretaría será nombrado por el Secretario General, de acuerdo con las directivas que imparta la Conferencia General.

3. Además de las atribuciones que le confiere el presente Tratado y de las que pueda asignarle la Conferencia General, el Secretario General velará, de conformidad con el Artículo 10, párrafo 5, por el buen funcionamiento del Sistema de Control establecido en el presente Tratado, de acuerdo con las disposiciones de éste y con las decisiones adoptadas por la Conferencia General.

4. El Secretario General actuará como tal en todas las sesiones de la Conferencia General y del Consejo y rendirá a ambos un Informe anual sobre las actividades del Organismo, así como los

informes especiales que la Conferencia General o el Consejo le soliciten, o que el propio Secretario General considere convenientes.

5. El Secretario General establecerá los métodos de distribución, a todas las Partes Contratantes, de las informaciones que el Organismo reciba de fuentes gubernamentales o no gubernamentales, siempre que las de éstas últimas sean de interés para el Organismo.

6. En el cumplimiento de sus deberes, el Secretario General y el personal de la Secretaría no solicitarán ni recibirán instrucciones de ningún gobierno ni de ninguna autoridad ajena al Organismo, y se abstendrán de actuar en forma alguna que sea incompatible con su condición de funcionarios internacionales responsables únicamente ante el Organismo; con sujeción a sus responsabilidades para con el Organismo, no revelarán ningún secreto de fabricación ni cualquier otro dato confidencial que llegue a su conocimiento en virtud del desempeño de sus funciones oficiales en el Organismo.

7. Cada una de las Partes Contratantes se compromete a respetar el carácter exclusivamente internacional de las funciones del Secretario General y del personal de la Secretaría, y a no tratar de influir sobre ellos en el desempeño de sus funciones.

Sistema de Control

Artículo 12

1. Con el objeto de verificar el cumplimiento de las obligaciones contraídas por las Partes Contratantes según las disposiciones del Artículo 1, se establece un Sistema de Control que se aplicará de acuerdo con lo estipulado en los Artículos 13 a 18 del presente Tratado.

2. El Sistema de Control estará destinado a verificar, especialmente:

a. Que los artefactos, servicios e instalaciones destinados a usos pacíficos de la energía nuclear no sean utilizados en el ensayo y la fabricación de armas nucleares;

b. Que no llegue a realizarse en el territorio de las Partes Contratantes ninguna de las actividades prohibidas en el Artículo I del presente Tratado, con materiales o armas nucleares introducidos del exterior, y

c. Que las explosiones con fines pacíficos sean compatibles con las disposiciones contenidas en el Artículo 18 del presente Tratado.

Salvaguardias del OIEA

Artículo 13

Cada Parte Contratante negociará acuerdos -multilaterales o bilaterales- con el Organismo Internacional de Energía Atómica para la aplicación de las Salvaguardias de éste a sus actividades nucleares. Cada Parte Contratante deberá iniciar las negociaciones dentro de un término de ciento ochenta días después de la fecha del depósito de su respectivo instrumento de ratificación del presente Tratado. Estos acuerdos deberán entrar en vigor, para cada una de las Partes, a más tardar dieciocho meses a contar de la fecha de iniciación de dichas negociaciones, salvo caso fortuito o fuerza mayor.

Informes de las Partes

Artículo 14

1. Las Partes Contratantes presentarán al Organismo y al Organismo Internacional de Energía Atómica, para su conocimiento, informes semestrales en los que se declare que ninguna actividad prohibida por las disposiciones del presente Tratado ha tenido lugar en sus respectivos territorios.

2. Las Partes Contratantes enviarán simultáneamente al Organismo copia de los informes enviados al Organismo Internacional de Energía Atómica en relación con las materias objeto del presente Tratado, que sean relevantes para el trabajo del Organismo.

3. La información proporcionada por las Partes Contratantes no podrá ser divulgada o comunicada a terceros, total o parcialmente, por los destinatarios de los informes, salvo cuando aquéllas lo consientan expresamente.

Informes Especiales a solicitud del Secretario General

Artículo 15

1. A solicitud de cualquiera de las Partes y con la autorización del Consejo, el Secretario General podrá solicitar de cualquiera de las Partes que proporcione al Organismo información complementaria o suplementaria respecto de cualquier hecho o circunstancia extraordinarios que afecten el cumplimiento del presente Tratado, explicando las razones que tuviere para ello. Las Partes Contratantes, se comprometen a colaborar pronta y ampliamente con el Secretario General.

2. El Secretario General, informará inmediatamente al Consejo y a las Partes sobre tales solicitudes y las respectivas respuestas.

Inspecciones especiales

Artículo 16

1. El Organismo Internacional de Energía Atómica tiene la facultad de efectuar inspecciones especiales, de conformidad con el Artículo 12 y con los acuerdos a que se refiere el Artículo 13 de este Tratado.

2. A requerimiento de cualquiera de las Partes y siguiendo los procedimientos establecidos en el Artículo 15 del presente Tratado, el Consejo podrá enviar a consideración del Organismo Internacional de Energía Atómica una solicitud para que ponga en marcha los mecanismos necesarios para efectuar una inspección especial.

3. El Secretario General solicitará al Director General del Organismo Internacional de Energía Atómica que le transmita oportunamente las informaciones que envíe para conocimiento de la Junta de Gobernadores del OIEA con relación a la conclusión de dicha inspección especial. El Secretario General dará pronto conocimiento de dichas informaciones al Consejo.

4. El Consejo, por conducto del Secretario General, transmitirá dichas informaciones a todas las Partes Contratantes.

Uso pacífico de la energía nuclear

Artículo 17

Ninguna de las disposiciones contenidas en el presente Tratado menoscaba los derechos de las Partes Contratantes para usar, en conformidad con este instrumento, la energía nuclear con fines pacíficos, de modo particular en su desarrollo económico y progreso social.

Explosiones con fines pacíficos

Artículo 18

1. Las Partes Contratantes podrán realizar explosiones de dispositivos nucleares con fines pacíficos -inclusive explosiones que presupongan artefactos similares a los empleados en el armamento nuclear o prestar su colaboración a terceros para los mismos fines, siempre que no contravengan las disposiciones del presente Artículo y las demás del Tratado, en especial las de los Artículos 1 y 5.

2. Las Partes Contratantes que tengan la intención de llevar a cabo una de tales explosiones, o colaborar para ello, deberán notificar al Organismo y al Organismo Internacional de Energía Atómica, con la antelación que las circunstancias lo exijan, la fecha de la explosión y presentar simultáneamente las siguientes informaciones:

a. El carácter del dispositivo nuclear y el origen del mismo;

b. El sitio y la finalidad de la explosión en proyecto;

c. Los procedimientos que se seguirán para dar cumplimiento al párrafo 3 de este Artículo;

d. La potencia que se espera tenga el dispositivo, y

e. Los datos más completos sobre la posible precipitación radiactiva que sea consecuencia de la explosión o explosiones, y las medidas que se tomarán para evitar riesgos a la población, flora, fauna y territorios de otra u otras Partes.

3. El Secretario General y el personal técnico designado por el Consejo, así como el del Organismo Internacional de Energía Atómica, podrán observar todos los preparativos, inclusive la explosión del dispositivo, y tendrán acceso irrestricto a toda área vecina del sitio de la explosión para asegurarse de que el dispositivo, así como los procedimientos seguidos en la explosión, se ajustan a la información presentada de acuerdo con el párrafo 2 de este Artículo y a las disposiciones del presente Tratado.

4. Las Partes Contratantes podrán recibir la colaboración de terceros para el objeto señalado en el párrafo 1 de este Artículo, de acuerdo con las disposiciones de los párrafos 2 y 3 del mismo.

Relaciones con el Organismo Internacional de Energía Atómica

Artículo 19

1. El Organismo podrá concertar con el Organismo Internacional de Energía Atómica los acuerdos que autorice la Conferencia General y que considere apropiados para facilitar el eficaz funcionamiento del Sistema de Control establecido en el presente Tratado.

Relaciones con otros organismos internacionales

Artículo 20

1. El Organismo podrá también entrar en relación con cualquier organización u organismo internacional, especialmente con los que lleguen a crearse en el futuro para supervisar el desarme o las medidas de control de armamentos en cualquier parte del mundo.

2. Las Partes Contratantes, cuando lo estimen conveniente, podrán solicitar el asesoramiento de la Comisión Interamericana de Energía Nuclear en todas las cuestiones de carácter técnico relacionadas con la aplicación del presente Tratado, siempre que así lo permitan las facultades conferidas a dicha Comisión por su Estatuto.

Medidas en caso de violación del Tratado

Artículo 21

1. La Conferencia General tomará conocimiento de todos aquellos casos en que, a su juicio, cualquiera de las Partes Contratantes no esté cumpliendo con las obligaciones derivadas del presente Tratado y llamará la atención de la Parte de que se trate, haciéndole las recomendaciones que juzgue adecuadas.

2. En caso de que, a su juicio, el incumplimiento en cuestión constituya una violación del presente Tratado que pudiera llegar a poner en peligro la paz y la seguridad, la propia Conferencia General informará sobre ello simultáneamente al Consejo de Seguridad y a la Asamblea General de las Naciones Unidas, por conducto del Secretario General de dicha Organización, así como al Consejo de la Organización de los Estados Americanos. La Conferencia General informará asimismo al Organismo Internacional de Energía Atómica a los efectos que resulten pertinentes de acuerdo con el Estatuto de éste.

Organización de las Naciones Unidas y Organización de los Estados Americanos

Artículo 22

Ninguna de las estipulaciones del presente Tratado se interpretará en el sentido de menoscabar los derechos y obligaciones de las Partes, de acuerdo con la Carta de las Naciones Unidas, ni, en el caso de los Estados Miembros de la Organización de los Estados Americanos, de acuerdo con los Tratados regionales existentes.

Prerrogativas e inmunidades

Artículo 23

1. El Organismo gozará, en el territorio de cada una de las Partes Contratantes, de la capacidad jurídica y de las prerrogativas e inmunidades que sean necesarias para el ejercicio de sus funciones y la realización de sus propósitos.

2. Los Representantes de las Partes Contratantes acreditados ante el Organismo, y los funcionarios de éste, gozarán asimismo de las prerrogativas e inmunidades necesarias para el desempeño de sus funciones.

3. El Organismo podrá concertar acuerdos con las Partes Contratantes con el objeto de determinar los pormenores de aplicación de los párrafos 1 y 2 de este Artículo.

Notificación de otro acuerdo

Artículo 24

Una vez que haya entrado en vigor el presente Tratado, todo acuerdo internacional que concierte cualquiera de las Partes Contratantes, sobre las materias a que el mismo se refiere, será notificado inmediatamente a la Secretaría, para que ésta lo registre y notifique a las demás Partes Contratantes.

Solución de controversias

Artículo 25

A menos que las Partes interesadas convengan en algún otro medio de solución pacífica, cualquier cuestión o controversia sobre la interpretación o aplicación del presente Tratado, que no haya sido solucionada, podrá ser sometida a la Corte Internacional de Justicia, previo el consentimiento de las Partes en la controversia.

Firma

Artículo 26

1. El presente Tratado estará abierto indefinidamente a la firma de:

a. Todas las Repúblicas latinoamericanas y del Caribe.

b. Los demás Estados soberanos del hemisferio occidental situados totalmente al sur del paralelo 35º latitud norte; y, salvo lo dispuesto en el párrafo 2 de este Artículo, los que vengan a serlo, cuando sean admitidos por la Conferencia General.

2. La condición de Estado Parte del Tratado de Tlatelolco, estará restringida a los Estados Independientes comprendidos en la Zona de aplicación del Tratado de conformidad con su Artículo 4, y párrafo 1 del presente Artículo, que al 10 de diciembre de 1985 fueran Miembros de las Naciones Unidas y a los territorios no autónomos mencionados en el documento OEA/SER.P, AG/doc. 1939/85 del 5 de noviembre de 1985, cuando alcancen su independencia.

Ratificación y depósito

Artículo 27

1. El presente Tratado está sujeto a la ratificación de los Estados Signatarios, de acuerdo con los procedimientos constitucionales respectivos.

2. Tanto el presente Tratado como los instrumentos de ratificación serán entregados para su depósito al Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos, al que se designa como Gobierno Depositario.

3. El Gobierno Depositario enviará copias certificadas del presente Tratado a los Gobiernos de los Estados Signatarios y les notificará el depósito de cada instrumento de ratificación.

Reservas

Artículo 28

El presente Tratado no podrá ser objeto de reservas.

Entrada en vigor

Artículo 29

1. Salvo lo previsto en el párrafo 2 de este Artículo, el presente Tratado entrará en vigor entre los Estados que lo hubieren ratificado tan pronto como se hayan cumplido los siguientes requisitos:

a. Entrega al Gobierno Depositario de los instrumentos de ratificación del presente Tratado por parte de los Gobiernos de los Estados mencionados en el Artículo 26 que existan en la fecha en que se abra a firma el presente Tratado y que no se vean afectados por lo dispuesto en el párrafo 2 del propio Artículo 26.

b. Firma y ratificación del Protocolo Adicional I anexo al presente Tratado, por parte de todos los Estados extra-continentales o continentales que tengan, de jure o de facto, responsabilidad internacional sobre territorios situados en la Zona de aplicación del presente Tratado.

c. Firma y ratificación del Protocolo Adicional II anexo al presente Tratado, por parte de todas las potencias que posean armas nucleares.

d. Celebración de acuerdos bilaterales o multilaterales sobre la aplicación del Sistema de Salvaguardias del Organismo Internacional de Energía Atómica, de conformidad con el Artículo 13 del presente Tratado.

2. Será facultad imprescriptible de todo Estado Signatario la dispensa, en todo o en parte, de los requisitos establecidos en el párrafo anterior, mediante declaración que figurará como anexo al instrumento de ratificación respectivo y que podrá formularse en el momento de hacer el depósito de éste o con posterioridad. Para los Estados que hagan uso de esa facultad, el presente Tratado entrará en vigor con el depósito de la declaración, o tan pronto como se hayan cumplido los requisitos cuya dispensa no haya sido expresamente declarada.

3. Tan luego como el presente Tratado haya entrado en vigor, de conformidad con lo dispuesto en el párrafo 2, entre once Estados, el Gobierno Depositario convocará a una reunión preliminar de dichos Estados para que se constituya y entre en funciones el Organismo.

4. Después de la entrada en vigor del presente Tratado para todos los países del área, el surgimiento de una nueva potencia poseedora de armas nucleares suspenderá la ejecución del presente Tratado para los países que lo ratificaron sin dispensar el párrafo 1, inciso c, de este Artículo que así lo soliciten, hasta que la nueva potencia, por sí misma o a petición de la Conferencia General, ratifique el Protocolo Adicional II anexo.

Reformas

Artículo 30

1. Cualquier Parte podrá proponer reformas al presente Tratado, entregando sus propuestas al Consejo por conducto del Secretario General, quien las transmitirá a todas las otras Partes Contratantes y a los demás Signatarios para los efectos del Artículo 6. El Consejo, por conducto del Secretario General, convocará inmediatamente después de la Reunión de Signatarios a una Reunión Extraordinaria de la Conferencia General para examinar las propuestas formuladas, para cuya aprobación se requerirá la mayoría de dos tercios de las Partes Contratantes presentes y votantes.

2. Las reformas aprobadas entrarán en vigor tan pronto como sean cumplidos los requisitos mencionados en el Artículo 29 del presente Tratado.

Vigencia y denuncia

Artículo 31

1. El presente Tratado tiene carácter permanente y regirá por tiempo indefinido, pero podrá ser denunciado por cualquiera de las Partes mediante notificación entregada al Secretario General del Organismo, si a juicio del Estado denunciante han ocurrido o pueden ocurrir circunstancias relacionadas con el contenido del presente Tratado o de los Protocolos Adicionales I y II anexos que afecten a sus intereses supremos, o a la paz y la seguridad de una o más Partes Contratantes.

2. La denuncia surtirá efecto tres meses después de la entrega de la notificación por parte del Gobierno del Estado Signatario interesado al Secretario General del Organismo. Éste, a su vez, comunicará inmediatamente dicha notificación a las demás Partes Contratantes, así como al Secretario General de las Naciones Unidas para que lo haga del conocimiento del Consejo de Seguridad y de la Asamblea General de las Naciones Unidas. Igualmente la comunicará al Secretario General de la Organización de los Estados Americanos.

Textos auténticos y registro

Artículo 32

El presente Tratado, cuyos textos en los idiomas español, chino, francés, inglés, portugués y ruso hacen igualmente fe, será registrado por el Gobierno Depositario de conformidad con el Artículo 102

de la Carta de las Naciones Unidas. El Gobierno Depositario notificará al Secretario General de las Naciones Unidas las firmas, ratificaciones y reformas de que sea objeto el presente Tratado, y las comunicará, para su información, al Secretario General de la Organización de los Estados Americanos.

Artículo transitorio

La denuncia de la declaración a que se refiere el párrafo 2 del Artículo 29 se sujetará a los mismos procedimientos que la denuncia del presente Tratado, con la salvedad de que surtirá efecto en la fecha de la entrega de la notificación respectiva.

EN FE DE LO CUAL, los Plenipotenciarios infrascritos, habiendo depositado sus Plenos Poderes, que fueron hallados en buena y debida forma, firman el presente Tratado en nombre de sus respectivos Gobiernos.

Hecho en la Ciudad de México, Distrito Federal, a los catorce días del mes de febrero del año de 1967.

Protocolo Adicional I

Los Plenipotenciarios infrascritos, provistos de Plenos Poderes de sus respectivos Gobiernos,

Convencidos de que el Tratado para la Proscripción de las Armas Nucleares en la América Latina y el Caribe, negociado y firmado en cumplimiento de las recomendaciones de la Asamblea General de las Naciones Unidas, contenidas en la Resolución 1911 (XVIII) de 27 de noviembre de 1963, representa un importante paso para asegurar la no proliferación de las armas nucleares;

Conscientes de que la no proliferación de las armas nucleares no constituye un fin en sí misma, sino un medio para alcanzar, en una etapa ulterior, el desarme general y completo, y

Deseosos de contribuir, en la medida de sus posibilidades, a poner fin a la carrera de armamentos, especialmente en el campo de las armas nucleares, y a favorecer la consolidación de la paz en el mundo, fundada en el respeto mutuo y en la igualdad soberana de los Estados,

Han convenido en lo siguiente:

Artículo 1

Comprometerse a aplicar en los territorios que de jure o de facto estén bajo su responsabilidad internacional, comprendidos dentro de los límites de la Zona geográfica establecida en el Tratado para la Proscripción de las Armas Nucleares en la América Latina y el Caribe, el estatuto de desnuclearización para fines bélicos que se halla definido en los Artículos 1, 3, 5 y 13 de dicho Tratado.

Artículo 2

El presente Protocolo tendrá la misma duración que el Tratado para la Proscripción de las Armas Nucleares en la América Latina y el Caribe del cual es Anexo, aplicándose a él las cláusulas referentes a la ratificación y denuncia que figuran en el cuerpo del Tratado.

Artículo 3

El presente Protocolo entrará en vigor, para los Estados que lo hubieren ratificado, en la fecha en que depositen sus respectivos instrumentos de ratificación.

En testimonio de lo cual, los Plenipotenciarios infrascritos, habiendo depositado sus Plenos Poderes, que fueron hallados en buena y debida forma, firman el presente Protocolo en nombre de sus respectivos Gobiernos.

Protocolo Adicional II

Los Plenipotenciarios infrascritos, provistos de Plenos Poderes de sus respectivos Gobiernos,

Convencidos de que el Tratado para la Proscripción de las Armas Nucleares en la América Latina y el Caribe, negociado y firmado en cumplimiento de las recomendaciones de la Asamblea General de las Naciones Unidas, contenidas en la Resolución 1911 (XVIII) de 27 de noviembre de 1963, representa un importante paso para asegurar la no proliferación de las armas nucleares;

Conscientes de que la no proliferación de las armas nucleares no constituye un fin en sí misma, sino un medio para alcanzar, en una etapa ulterior, el desarme general y completo, y

Deseosos de contribuir, en la medida de sus posibilidades, a poner fin a la carrera de armamentos, especialmente en el campo de las armas nucleares, y favorecer y consolidar la paz del mundo, fundada en el respeto mutuo y en la igualdad soberana de los Estados,

Han convenido en lo siguiente:

Artículo 1

El estatuto de desnuclearización para fines bélicos de la América Latina y el Caribe, tal como está definido, delimitado y enunciado en las disposiciones del Tratado para la Proscripción de las Armas Nucleares en la América Latina y el Caribe, del cual este instrumento es Anexo, será plenamente respetado por las Partes en el presente Protocolo en todos sus objetivos y disposiciones expresas.

Artículo 2

Los Gobiernos representados por los Plenipotenciarios infrascritos se comprometen, por consiguiente, a no contribuir en forma alguna a que, en los territorios a los que se aplique el Tratado de conformidad con el Artículo 4, sean practicados actos que entrañen una violación de las obligaciones enunciadas en el Artículo 1 del Tratado.

Artículo 3

Los Gobiernos representados por los Plenipotenciarios infrascritos se comprometen, además, a no emplear armas nucleares y a no amenazar con su empleo contra las Partes Contratantes del Tratado para la Proscripción de las Armas Nucleares en la América Latina y el Caribe.

Artículo 4

El presente Protocolo tendrá la misma duración que el Tratado para la Proscripción de las Armas Nucleares en la América Latina y el Caribe del cual es Anexo, y a él se aplican las definiciones del territorio y de las armas nucleares contenidas en los Artículos 3 y 5 del Tratado, así como las disposiciones relativas a ratificación, reservas y denuncia, textos auténticos y registro que figuran en los Artículos 27, 28, 31 y 32 del propio Tratado.

Artículo 5

El presente Protocolo entrará en vigor, para los Estados que lo hubieren ratificado, en la fecha en que depositen sus respectivos instrumentos de ratificación.

En testimonio de lo cual, los Plenipotenciarios infrascritos, habiendo depositado sus Plenos Poderes, que fueron hallados en buena y debida forma, firman el presente Protocolo Adicional en nombre de sus respectivos Gobiernos.

3. ACUERDO ENTRE LA REPÚBLICA ARGENTINA, LA REPÚBLICA FEDERATIVA DEL BRASIL, LA AGENCIA BRASILEÑO-ARGENTINA DE CONTABILIDAD Y CONTROL DE MATERIALES NUCLEARES Y EL ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA PARA LA APLICACIÓN DE SALVAGUARDIAS

CONSIDERANDO que la República Argentina y la República Federativa del Brasil (que en adelante se denominarán "los Estados Parte" en el presente Acuerdo) son partes en el Acuerdo para el Uso Exclusivamente Pacífico de la Energía Nuclear (que en adelante se denominará "el Acuerdo SCCC" en el presente Acuerdo)2/, por el que se establece el Sistema Común de Contabilidad y Control de Materiales Nucleares (que en adelante se denominará el "SCCC" en el presente Acuerdo);

RECORDANDO los compromisos asumidos por los Estados Parte en el Acuerdo SCCC;

RECORDANDO que, en conformidad con el Acuerdo SCCC, ninguna de sus disposiciones se interpretará en el sentido de que afectan el derecho inalienable de las partes en el mismo a llevar a cabo actividades de investigación, producir y utilizar energía nuclear con fines pacíficos sin discriminación y en conformidad con los artículos I a IV del Acuerdo SCCC;

CONSIDERANDO que los Estados Parte son miembros de la Agencia Brasileño- Argentina de Contabilidad y Control de Materiales Nucleares (que en adelante se denominará "ABACC" en el presente Acuerdo), al que se ha confiado la aplicación
SCCC;

CONSIDERANDO que los Estados Parte han decidido concertar con el Organismo Internacional de Energía Atómica (que en adelante se denominará "el Organismo" en el presente Acuerdo) un acuerdo de salvaguardias conjunto, con el SCCC como base del acuerdo;

CONSIDERANDO que los Estados Parte han pedido además voluntariamente al Organismo que aplique sus salvaguardias teniendo en cuenta el SCCC;

CONSIDERANDO que es deseo de los Estados Parte, la ABACC y el Organismo evitar la duplicación innecesaria de las actividades de salvaguardias;

CONSIDERANDO que el Organismo está autorizado, en virtud del apartado 5 del párrafo A del Artículo III de su Estatuto (que en adelante se denominará "el Estatuto" en el presente Acuerdo), para concertar acuerdos de salvaguardias petición de Estados Miembros;

LOS ESTADOS PARTE, LA ABACC Y EL ORGANISMO acuerdan lo siguiente:

P A R T E I

COMPROMISO BÁSICO

A r t í c u l o 1
Los Estados Parte se comprometen, de conformidad con los términos del presente Acuerdo, a aceptar la aplicación de salvaguardias a todos los materiales nucleares en todas las actividades nucleares realizadas dentro de sus territorios, bajo su jurisdicción o efectuadas bajo su control en cualquier lugar, a efectos únicamente de verificar que dichos materiales no se desvían hacia armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos.

A r t í c u l o 2
a) El Organismo tendrá el derecho y la obligación de cerciorarse que las salvaguardias se aplicarán, de conformidad con los términos del presente Acuerdo, a todos los materiales nucleares en todas las actividades nucleares realizadas en los territorios de los Estados Parte, bajo su jurisdicción o efectuadas bajo su control en cualquier lugar, a efectos únicamente de verificar que dichos materiales no se desvían hacia armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos.

b) La ABACC se compromete, al aplicar sus salvaguardias a los materiales nucleares en todas las actividades nucleares desarrolladas en los territorios de los Estados Parte, a cooperar con el Organismo, de conformidad con los términos del presente Acuerdo, con miras a comprobar que dichos materiales nucleares no se desvían hacia armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos.

c) El Organismo aplicará sus salvaguardias de manera que le permitan verificar, para comprobar que no se ha producido desviación alguna de materiales nucleares hacia armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos, los resultados del SCCC. Esta verificación por parte del Organismo incluirá, inter alia, mediciones independientes y observaciones que llevará a cabo el Organismo de conformidad con los procedimientos que se especifican en el presente Acuerdo. El Organismo tendrá debidamente en cuenta en su verificación la eficacia técnica del SCCC.

A r t í c u l o 3
a) Los Estados Parte, la ABACC y el Organismo cooperarán para facilitar la puesta en práctica de las salvaguardias estipuladas en el presente acuerdo.
b) La ABACC y el Organismo evitarán la duplicación innecesaria de las actividades de salvaguardias. PUESTA EN PRÁCTICA DE LAS SALVAGUARDIAS

A r t í c u l o 4
Las salvaguardias estipuladas en el presente Acuerdo se pondrán en práctica de forma que:
a) no obstaculicen el desarrollo económico o tecnológico de los Estados Parte o la cooperación internacional en la esfera de las actividades nucleares, incluido el intercambio internacional de materiales nucleares;
b) se evite toda intervención injustificada en las actividades nucleares de los Estados Parte, y particularmente en la explotación de las instalaciones nucleares;
c) se ajusten a las prácticas prudentes de gestión necesarias para desarrollar las actividades nucleares en forma segura y económica; y
d) permitan al Organismo cumplir sus obligaciones en virtud del presente Acuerdo, teniendo en cuenta la necesidad de que el Organismo preserve los secretos tecnológicos.

A r t í c u l o 5

a) El Organismo adoptará todas las precauciones necesarias para proteger cualquier información confidencial que llegue a su conocimiento en la ejecución del presente Acuerdo.
b) i) El Organismo no publicará ni comunicará a ningún Estado, organización o persona la información que obtenga en relación con la ejecución del presente Acuerdo, excepción hecha de la información específica acerca de la ejecución del mismo que pueda facilitarse a la Junta de Gobernadores del Organismo (que en adelante se denominará "la Junta" en el presente Acuerdo) y a los funcionarios del Organismo que necesiten conocerla para poder desempeñar sus funciones oficiales en relación con las salvaguardias, en cuyo caso dicha información se facilitará solo en la medida necesaria para que el Organismo pueda desempeñar sus obligaciones en la ejecución del presente Acuerdo.
ii) Podrá publicarse, por decisión de la Junta, información resumida sobre los materiales nucleares sometidos a salvaguardias en virtud del presente Acuerdo, si los Estados Parte directamente interesados dan su consentimiento.

A r t í c u l o 6
a) Al poner en práctica las salvaguardias conforme al presente Acuerdo, se tendrán plenamente en cuenta los perfeccionamientos tecnológicos en la esfera de las salvaguardias y se hará todo lo posible para lograr una relación óptima costo-eficacia, así como la aplicación del principio de salvaguardar eficazmente la corriente de materiales nucleares sometidos a salvaguardias en virtud del presente Acuerdo mediante el empleo de instrumentos y otros medios técnicos en determinados puntos estratégicos en la medida que lo permita la tecnología actual o futura.
b) A fin de lograr la relación óptima costo-eficacia, se utilizarán, por ejemplo, medios como:
i) contención y vigilancia como medio de delimitar las zonas de balance de materiales a efectos contables y de control;
ii) técnicas estadísticas y muestreo aleatorio para evaluar la corriente de materiales nucleares; y
iii) concentración de los procedimientos de verificación en aquellas fases del ciclo del combustible nuclear que entrañan la producción, tratamiento, utilización o almacenamiento de materiales nucleares a partir de los cuales se puedan fabricar fácilmente armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos, y reducción al mínimo de los procedimientos de verificación respecto de los demás materiales nucleares, a condición de que esto no entorpezca la aplicación del presente Acuerdo.

SUMINISTRO DE INFORMACIÓN AL ORGANISMO

A r t í c u l o 7
a) A fin de asegurar la eficaz puesta en práctica de salvaguardias en virtud del presente Acuerdo, la ABACC facilitará al Organismo, de conformidad con las disposiciones que se establecen en el presente Acuerdo, información relativa a los materiales nucleares sometidos a salvaguardias en virtud del presente Acuerdo y a las características de las instalaciones pertinentes para la salvaguardia de dichos materiales.
b) i) El Organismo pedirá únicamente la mínima cantidad de información y de datos que necesite para el desempeño de sus obligaciones en virtud del presente Acuerdo.
ii) La información relativa a las instalaciones será el mínimo que se necesite para salvaguardar los materiales nucleares sometidos a salvaguardias en virtud del presente Acuerdo.
c) Si así lo pide un Estado Parte, el Organismo estará dispuesto a examinar directamente en los locales de ese Estado Parte o de la ABACC, la información sobre el diseño que el Estado Parte considere particularmente delicada. No será necesaria la transmisión material de dicha información al Organismo siempre y cuando el Organismo pueda volver a examinarla fácilmente en los locales ya sea del Estado Parte o de la ABACC.

INSPECTORES DEL ORGANISMO

A r t í c u l o 8
a) i) El Organismo recabará el consentimiento de los Estados Parte por conducto de la ABACC antes de designar inspectores del Organismo para los Estados Parte.

ii) Si los Estados Parte por conducto de la ABACC se oponen a la designación propuesta de un inspector del Organismo en el momento de proponerse la designación o en cualquier momento después que se haya hecho la misma, el Organismo propondrá una u otras posibles designaciones.
iii) Si, como consecuencia de la negativa reiterada de los Estados Parte por conducto de la ABACC a aceptar la designación de inspectores del Organismo, se impidieran las inspecciones que han de realizarse en virtud del presente Acuerdo, el Director General del Organismo (que en adelante se denominará "Director General" en el presente Acuerdo) someterá el caso a la consideración de la Junta para que ésta adopte las medidas oportunas.
b) La ABACC y los Estados Parte adoptarán las medidas necesarias para que los inspectores del Organismo puedan desempeñar eficazmente sus funciones en virtud del presente Acuerdo.
c) Las visitas y actividades de los inspectores del Organismo se organizarán de manera que:
i) se reduzcan al mínimo los posibles inconvenientes y trastornos para los Estados Parte y la ABACC y para las actividades nucleares inspeccionadas
ii) se asegure la protección de toda información confidencial que llegue a conocimiento de los inspectores del Organismo; y
iii) se tengan en cuenta las actividades de la ABACC para evitar la duplicación innecesaria de las actividades.

PUNTO INICIAL DE LAS SALVAGUARDIAS

A r t í c u l o 9
a) Cuando cualquier material que contenga uranio o torio que no haya alcanzado la fase del ciclo de combustible nuclear que se indica en el párrafo
b) sean importados por un Estado Parte en el presente Acuerdo, ese Estado Parte deberá comunicar al Organismo su cantidad y composición, a menos que los materiales se importen para fines específicamente no nucleares; y cuando cualesquiera materiales nucleares de composición y pureza adecuados para la fabricación de combustible o para el enriquecimiento isotópico salgan de la planta o de la fase de un proceso en que hayan sido producidos, o cuando materiales nucleares que reúnan esas mismas características, u otros materiales nucleares cualesquiera producidos en una fase posterior del ciclo de combustible nuclear, sean importados por un Estado Parte en el presente Acuerdo, dichos materiales nucleares quedarán sometidos a los demás procedimientos de salvaguardias que se especifiquen en el presente Acuerdo.

CESE DE LAS SALVAGUARDIAS

A r t í c u l o 10
a) Los materiales nucleares dejarán de estar sometidos a salvaguardias en virtud del presente Acuerdo cuando la ABACC y el Organismo hayan determinado que han sido consumidos o diluidos de modo tal que no pueden ya utilizarse para ninguna actividad nuclear importante desde el punto de vista de las salvaguardias, o que son prácticamente irrecuperables.
b) Cuando se vayan a utilizar materiales nucleares sometidos a salvaguardias en virtud del presente Acuerdo en actividades no nucleares, tales como la producción de aleaciones o de materiales cerámicos, la ABACC convendrá con el Organismo, antes de que se utilicen los materiales nucleares de esta manera, las condiciones en que podrá cesar la aplicación de salvaguardias a dichos materiales en virtud del presente Acuerdo.

EXENCIÓN DE LAS SALVAGUARDIAS

A r t í c u l o 11
a) Los materiales nucleares quedarán exentos de la aplicación de salvaguardias en conformidad con las disposiciones especificadas en el artículo 35 del presente Acuerdo.
b) Cuando los materiales nucleares sometidos a salvaguardias en virtud del presente Acuerdo se hayan de utilizar en actividades no nucleares que, a juicio ya sea de la ABACC o del Organismo, no transformarán esos materiales en prácticamente irrecuperables, la ABACC convendrá con el

Organismo, antes de que se utilicen los materiales, las condiciones en virtud de las cuales tales materiales podrán quedar exentos de la aplicación de salvaguardias.

TRASLADO DE MATERIALES NUCLEARES FUERA DE LOS ESTADOS PARTE

A r t í c u l o 12

a) La ABACC dará notificación al Organismo de los materiales nucleares sometidos a salvaguardias en virtud del presente Acuerdo que se trasladen fuera de los Estados Parte, en conformidad con las disposiciones del presente Acuerdo. Se dejará de aplicar salvaguardias a los materiales nucleares en virtud del presente Acuerdo cuando el Estado destinatario haya asumido la responsabilidad de los mismos, como se estipula en la Parte II del presente Acuerdo. El Organismo llevará registros en los que se indiquen cada traslado y la reanudación de la aplicación de salvaguardias a los materiales nucleares trasladados.

b) Cuando cualesquiera materiales que contengan uranio o torio que no hayan alcanzado la fase del ciclo del combustible nuclear que se indica en el párrafo b) del artículo 9 sean exportados directa o indirectamente por un Estado Parte en el presente Acuerdo a cualquier Estado no parte en el presente Acuerdo, el Estado Parte deberá comunicar al Organismo su cantidad, composición y destino, a menos que los materiales se exporten para fines específicamente no nucleares.

PROCEDIMIENTOS ESPECIALES

A r t í c u l o 13

En caso de que un Estado Parte proyecte ejercer su facultad discrecional de utilizar materiales nucleares que deban estar sometidos a salvaguardias en virtud del presente Acuerdo para propulsión u operación nuclear de cualquier vehículo, incluidos los submarinos y los prototipos, o en cualquier otra actividad nuclear no proscrita según lo convenido entre el Estado Parte y el Organismo, serán de aplicación los siguientes procedimientos:

a) el Estado Parte deberá informar de la actividad al Organismo, por conducto de la ABACC, y aclarará:

i) que la utilización de los materiales nucleares en tales actividades no está en pugna con un compromiso asumido por el Estado Parte en virtud de acuerdos concertados con el Organismo en relación con el Artículo XI del Estatuto del Organismo o cualquier otro acuerdo concertado con el Organismo en relación con los documentos INFCIRC/26 (y Add.1) o INFCIRC/66 (y Rev.1 o 2), según sea aplicable; y

ii) que durante el período de aplicación de los procedimientos especiales, los materiales nucleares no se utilizarán para la producción de armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos;

b) el Estado Parte y el Organismo concertarán un convenio de manera que estos procedimientos especiales se aplicarán solo mientras los materiales nucleares se utilicen para propulsión nuclear o en la operación de cualquier vehículo, incluidos los submarinos y los prototipos, o en cualquier otra actividad nuclear no proscrita según lo convenido entre el Estado Parte y el Organismo. En la medida de lo posible, este convenio especificará el plazo o las circunstancias en que se aplicarán los procedimientos especiales. En cualquier caso, los otros procedimientos estipulados en el presente Acuerdo se aplicarán de nuevo tan pronto como los materiales nucleares vuelvan a adscribirse a una actividad nuclear distinta de las mencionadas anteriormente. Se mantendrá informado al Organismo de la cantidad total y de la composición de dichos materiales que se encuentren en ese Estado Parte y de cualquier exportación de dichos materiales; y

c) todo convenio se concertará entre el Estado Parte interesado y el Organismo tan pronto como sea posible y se referirá exclusivamente a cuestiones tales como las disposiciones temporales y de procedimiento y los arreglos relativos a la presentación de informes, pero no supondrá aprobación alguna ni el conocimiento secreto de tal actividad, ni hará referencia alguna a la utilización de los materiales nucleares en la misma.

MEDIDAS RELATIVAS A LA VERIFICACIÓN DE LA NO DESVIACIÓN

A r t í c u l o 14

Si la Junta, sobre la base de un informe del Director General, decide que es esencial y urgente que la ABACC y/o un Estado Parte adopten una medida determinada a fin de que se pueda verificar que no se ha producido ninguna desviación de los materiales nucleares sometidos a salvaguardias en virtud del presente Acuerdo hacia armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos, la Junta podrá pedir a la ABACC y/o el Estado Parte interesado que adopten las medidas necesarias sin demora alguna, independientemente de que se haya invocado o no los procedimientos para la solución de controversias con arreglo al artículo 22 del presente Acuerdo.

A r t í c u l o 15
Si la Junta, después de examinar la información pertinente que le transmita el Director General, llega a la conclusión de que el Organismo no está en condiciones de verificar que no se ha producido ninguna desviación de material nuclear que debe estar sometido a salvaguardias en virtud del presente Acuerdo hacia armas nucleares u otros dispositivos nucleares explosivos, podrá presentar los informes previstos en el párrafo C del Artículo XII del Estatuto y podrá asimismo adoptar, cuando corresponda, las otras medidas que se prevén en dicho párrafo. Al obrar así la Junta tendrá presente el grado de seguridad logrado por las medidas de salvaguardias que se hayan aplicado y dará al Estado Parte interesado todas las oportunidades razonables para que pueda darle las garantías necesarias.

PRIVILEGIOS E INMUNIDADES

A r t í c u l o 16
Cada Estado Parte concederá al Organismo, inclusive sus bienes, fondos y haberes, y a sus inspectores y demás funcionarios que desempeñen funciones en virtud del presente Acuerdo, las disposiciones pertinentes del Acuerdo sobre privilegios e inmunidades del Organismo Internacional de Energía Atómica3/. FINANZAS

A r t í c u l o 17
Los Estados Parte, la ABACC y el Organismo sufragarán los gastos en que incurra cada uno al dar cumplimiento a las obligaciones que respectivamente les incumban en virtud del presente Acuerdo. No obstante, si los Estados Parte, o personas bajo su jurisdicción, o la ABACC incurren en gastos extraordinarios como consecuencia de una petición concreta del Organismo, éste reembolsará tales gastos siempre que haya convenido previamente en hacerlo. En todo caso, el Organismo sufragará el costo de las mediciones o tomas de muestras adicionales que puedan pedir los inspectores del Organismo.

RESPONSABILIDAD CIVIL POR DAÑOS NUCLEARES

A r t í c u l o 18
Cada Estado Parte dispondrá lo necesario para que todas las medidas de protección en materia de responsabilidad civil por daños nucleares, tales como seguros u otras garantías financieras, a que se pueda recurrir en virtud de sus leyes o reglamentos, se apliquen al Organismo y a sus funcionarios en lo que concierne a la ejecución del presente Acuerdo en la misma medida que a los residentes en ese Estado Parte.

RESPONSABILIDAD INTERNACIONAL

A r t í c u l o 19
Toda reclamación formulada por la ABACC o por un Estado Parte contra el Organismo o por el Organismo contra la ABACC o un Estado Parte respecto de cualquier daño que pueda resultar de la puesta en práctica de las salvaguardias en virtud del presente Acuerdo, con excepción de los daños dimanantes de un accidente nuclear, se resolverá de conformidad con el derecho internacional.

INTERPRETACIÓN Y APLICACIÓN DEL ACUERDO Y SOLUCIÓN DE CONTROVERSIAS

A r t í c u l o 20
A petición del Organismo, de la ABACC o de un Estado Parte o de los Estados Parte, se celebrarán consultas acerca de cualquier problema que surja de la interpretación o aplicación del presente Acuerdo.

A r t í c u l o 21
La ABACC y los Estados Parte tendrán derecho a pedir que la Junta estudie cualquier problema que surja de la interpretación o aplicación del presente Acuerdo. La Junta invitará a todas las partes en el Acuerdo a participar en sus debates sobre cualquiera de estos problemas.

A r t í c u l o 22
Toda controversia derivada de la interpretación o aplicación del presente Acuerdo, a excepción de las controversias que puedan surgir respecto de una conclusión de la Junta en virtud del artículo 15 de una medida adoptada por la Junta con arreglo a tal conclusión, que no quede resuelta mediante negociación o cualquier otro procedimiento convenido entre el Estado Parte o los Estados Partes interesados, la ABACC y el Organismo se someterán, a petición de cualquiera de ellos, a un tribunal arbitral compuesto por cinco árbitros. Los Estados Parte y la ABACC designarán dos árbitros y el Organismo designará también dos árbitros, y los cuatro árbitros así designados elegirán un quinto árbitro que actuará como presidente. Si dentro de los 30 días siguientes a la petición de arbitraje el Organismo o los Estados Parte y la ABACC no han designado dos árbitros cada uno, cualquiera de ellos podrá pedir al Presidente de la Corte Internacional de Justicia que designe estos árbitros. El mismo procedimiento se aplicará si, dentro de los 30 días de la designación o nombramiento del cuarto árbitro, el quinto no ha sido elegido. La mayoría de los miembros del tribunal arbitral formará quórum y todas las decisiones requerirán el consenso de por lo menos tres árbitros. El procedimiento de arbitraje será determinado por el tribunal. Las decisiones de éste serán obligatorias para los Estados Parte, la ABACC y el Organismo.

SUSPENSIÓN DE LA APLICACIÓN DE LAS SALVAGUARDIAS DEL ORGANISMO EN VIRTUD DE OTROS ACUERDOS

A r t í c u l o 23
En el momento de la entrada en vigor del presente Acuerdo para un Estado Parte, y en tanto permanezca en vigor, quedará suspendida la aplicación de salvaguardias del Organismo en ese Estado Parte en virtud de otros acuerdos concertados con el Organismo que no abarquen a terceras partes. El Organismo y el Estado Parte interesado iniciarán consultas con la tercera parte interesada a fin de suspender la aplicación de salvaguardias en ese Estado Parte en virtud de acuerdos de salvaguardias que abarquen a terceras partes. Continuará en vigor el compromiso asumido por el Estado Parte en los acuerdos mencionados de no utilizar los elementos que están sujetos a dicho acuerdo de modo que contribuyan a fines militares.

ENMIENDA DEL ACUERDO

A r t í c u l o 24
a) A petición de cualquiera de ellos, la ABACC, los Estados Parte y el Organismo se consultarán acerca de la enmienda del presente Acuerdo.
b) Todas las enmiendas necesitarán el consenso de la ABACC, los Estados Parte y el Organismo.
c) Las enmiendas del presente Acuerdo entrarán en vigor en las mismas condiciones en que entre en vigor el propio Acuerdo.
d) El Director General comunicará prontamente a los Estados Miembros del Organismo toda enmienda del presente Acuerdo.

ENTRADA EN VIGOR Y DURACIÓN

A r t í c u l o 25

El presente Acuerdo entrará en vigor en la fecha en que el Organismo reciba de la ABACC y de los Estados Parte notificación por escrito de que se han cumplido sus respectivos requisitos para la entrada en vigor. El Director General comunicará prontamente a todos los Estados Miembros del Organismo la entrada en vigor del presente Acuerdo.

A r t í c u l o 26
El presente Acuerdo permanecerá en vigor mientras los Estados Parte sean partes en el Acuerdo SCCC.

PROTOCOLO

A r t í c u l o 27
El protocolo que va adjunto al presente Acuerdo será parte integrante del mismo. El término "Acuerdo", tal como se utiliza en el presente instrumento, significa el Acuerdo y el Protocolo juntos.

P A R T E II

INTRODUCCIÓN

A r t í c u l o 28
La finalidad de esta parte del Acuerdo es especificar los procedimientos que han de seguirse para poner en práctica las disposiciones de salvaguardias de la Parte I.

OBJETIVO DE LAS SALVAGUARDIAS

A r t í c u l o 29
El objetivo de los procedimientos de salvaguardias establecidos en el presente Acuerdo es descubrir oportunamente la desviación de cantidades significativas de material nuclear de actividades nucleares pacíficas hacia la fabricación de armas nucleares o de otros dispositivos nucleares explosivos o con fines desconocidos, y disuadir de tal desviación ante el riesgo de su pronto descubrimiento.

A r t í c u l o 30
A fin de lograr el objetivo fijado en el artículo 29, se aplicará la contabilidad de materiales nucleares como medida de salvaguardias de importancia fundamental, con la contención y la vigilancia como medidas complementarias importantes.

A r t í c u l o 31
La conclusión de índole técnica de las actividades de verificación llevadas a cabo por el Organismo será una declaración, respecto de cada zona de balance de materiales, de la cuantía del material no contabilizado a lo largo de un período determinado, indicándose los límites de aproximación de las cantidades declaradas.

SISTEMA COMÚN DE CONTABILIDAD Y CONTROL DE MATERIALES NUCLEARES

A r t í c u l o 32
Con arreglo al artículo 2, el Organismo, en el desempeño de sus actividades de verificación, aprovechará al máximo el SCCC y evitará la duplicación innecesaria de las actividades de contabilidad y control de la ABACC.

A r t í c u l o 33
El sistema de la ABACC para la contabilidad y el control de los materiales nucleares en virtud del presente Acuerdo se basarán en una estructura de zonas de balance de materiales y preverá, según proceda y se especifique en los Arreglos Subsidiarios, el establecimiento de medidas tales como:

a) un sistema de mediciones para determinar las cantidades de materiales nucleares recibidas, producidas, trasladadas, pérdidas o dadas de baja por otra razón en el inventario, y las cantidades que figuran en éste;
b) la evaluación de la precisión y el grado de aproximación de las mediciones y el cálculo de la incertidumbre de éstas;
c) procedimientos para identificar, revisar y evaluar diferencias en las mediciones remitente-destinatario;
d) procedimientos para efectuar un inventario físico;
e) procedimientos para evaluar las existencias no medidas y las pérdidas no medidas que se acumulen;
f) un sistema de registros e informes que reflejen, para cada zona de balance de materiales, el inventario de materiales nucleares y los cambios en tal inventario, comprendidas las entradas y salidas de la zona de balance de materiales;
g) disposiciones para cerciorarse de la correcta aplicación de los procedimientos y mediciones de contabilidad; y
h) procedimientos para facilitar informes al Organismo de conformidad con los artículos 57 a 63 y 65 a 67.

CESE DE LAS SALVAGUARDIAS

A r t í c u l o 34
a) Los materiales nucleares sometidos a salvaguardias en virtud de presente Acuerdo dejarán de estar sometidos a dichas salvaguardias en las condiciones que se establecen en el apartado a) del artículo 10. En caso de que no se cumplan las condiciones del apartado a) del artículo 10, pero la ABACC considere que no es conveniente o practicable de momento recuperar de los residuos los materiales nucleares sometidos a salvaguardias, la ABACC y el Organismo se consultarán acerca de las medidas de salvaguardias que sea apropiado aplicar.
b) Los materiales nucleares sometidos a salvaguardias en virtud del presente Acuerdo dejarán de estar sometidos a las mismas en las condiciones establecidas en el apartado b) del artículo 10, siempre que la ABACC y el Organismo convengan en que esos materiales nucleares son prácticamente irrecuperables.
c) Los materiales nucleares sometidos a salvaguardias en virtud del presente Acuerdo dejarán de estar sometidos a las mismas cuando sean trasladados fuera de los Estados Parte, en las condiciones que se establecen en el apartado a) del artículo 12 y con los procedimientos especificados en los artículos 89 a 92.

EXENCION DE SALVAGUARDIAS

A r t í c u l o 35
A petición de la ABACC, el Organismo eximirá de salvaguardias a los siguientes materiales nucleares:
a) materiales fisionables especiales que se utilicen en cantidades del orden del gramo o menores como componentes sensibles en instrumentos;
b) materiales nucleares que se utilicen en actividades no nucleares de conformidad con el apartado b) del artículo 11;
c) si la cantidad total de materiales nucleares que han sido eximidos en cada Estado Parte de conformidad con este párrafo en ningún momento excede de:
i) un kilogramo, en total, de materiales fisionables que podrán ser uno o más de los que se enumeran a continuación:
1) plutonio;
2) uranio, con un enriquecimiento de 0,2 (20%) como mínimo; la cantidad se obtendrá multiplicando su peso por su enriquecimiento; y
3) uranio, con un enriquecimiento inferior a 0,2 (20%) y superior al del uranio natural; la cantidad se obtendrá multiplicando su peso por el quíntuple del cuadrado de su enriquecimiento;
ii) diez toneladas métricas, en total, de uranio natural y uranio empobrecido con un enriquecimiento superior a 0,005 (0,5%);

iii) 20 toneladas métricas de uranio empobrecido con un enriquecimiento de 0,005 (0,5%) como máximo; y
iv) 20 toneladas métricas de torio; o
d) plutonio con una concentración isotópica de plutonio 238 superior al 80%.

A r t í c u l o 36
Si los materiales nucleares exentos han de ser objeto de tratamiento o de almacenamiento junto con materiales nucleares sometidos a salvaguardias en virtud del presente Acuerdo, se dispondrá lo necesario para que se reanude la aplicación de salvaguardias a los primeros.

ARREGLOS SUBSIDIARIOS

A r t í c u l o 37
Teniendo en cuenta el SCCC, la ABACC, el Estado Parte interesado y el Organismo concertarán Arreglos Subsidiarios que habrán de especificar en detalle, en la medida necesaria para que el Organismo pueda desempeñar de modo efectivo y eficaz sus obligaciones en virtud del presente Acuerdo, cómo han de aplicarse los procedimientos establecidos en el presente Acuerdo. Por acuerdo entre la ABACC, el Estado Parte interesado y el Organismo, los Arreglos Subsidiarios se podrán ampliar o modificar o, respecto de una instalación determinada, terminar sin enmendar el presente Acuerdo.

A r t í c u l o 38
Los Arreglos Subsidiarios cobrarán efectividad al mismo tiempo que entre en vigor el presente Acuerdo o tan pronto como sea posible después de la entrada en vigor de éste. La ABACC, los Estados Parte y el Organismo harán todo lo posible porque dichos arreglos cobren efectividad dentro del plazo de 180 días a partir de la entrada en vigor del presente Acuerdo; para prorrogar este plazo habrán de ponerse de acuerdo la ABACC, los Estados Parte y el Organismo. El Estado Parte interesado, por conducto de la ABACC, facilitará prontamente al Organismo la información necesaria para poder redactar los Arreglos Subsidiarios en forma completa. Tan pronto haya entrado en vigor el presente Acuerdo, el Organismo tendrá derecho a aplicar los procedimientos en él establecidos respecto de los materiales nucleares enumerados en el inventario a que se refiere el artículo 39, aun cuando no hubieran entrado todavía en vigor los Arreglos Subsidiarios.

INVENTARIO

A r t í c u l o 39
Sobre la base del informe inicial a que se refiere el artículo 60, el Organismo abrirá inventarios unificados de todos los materiales nucleares en cada Estado Parte sometidos a salvaguardias en virtud del presente Acuerdo, sea cual fuere su origen, y mantendrá al día dichos inventarios basándose en los informes presentados ulteriormente y en los resultados de sus actividades de verificación. Se pondrán copias del inventario a disposición de la ABACC a los intervalos que se especifiquen de común acuerdo.

INFORMACIÓN SOBRE EL DISEÑO

A r t í c u l o 40
Con arreglo al artículo 7, la información sobre el diseño de las instalaciones existentes será facilitada al Organismo por el Estado Parte interesado por conducto de la ABACC en el curso de la negociación de los Arreglos Subsidiarios. Se especificarán en éstos las fechas límite para suministrar tal información respecto de las nuevas instalaciones, y la citada información se facilitará a la mayor brevedad posible antes de que se introduzcan materiales nucleares en una nueva instalación.

A r t í c u l o 41

La información sobre el diseño que ha de ponerse a disposición del Organismo ha de incluir, respecto de cada instalación, cuando proceda:
a) la identificación de la instalación, indicándose su carácter general, finalidad, capacidad nominal y situación geográfica, así como el nombre y dirección que han de utilizarse para resolver asuntos de trámite;
b) una descripción de la disposición general de la instalación con referencia, en la medida de lo posible, a la forma, ubicación y corriente de los materiales nucleares, y a la ordenación general de los elementos importantes del equipo que utilicen, produzcan o traten materiales nucleares;
c) una descripción de las características de la instalación relativas a contención, vigilancia y contabilidad de materiales nucleares; y
d) una descripción de los procedimientos actuales y propuestos que se seguirán en la instalación para la contabilidad y el control de los materiales nucleares, haciéndose especial referencia a las zonas de balance de materiales establecidas por el explotador, a las mediciones de la corriente y a los procedimientos para efectuar el inventario físico.

A r t í c u l o 42
Se facilitará también al Organismo la demás información pertinente a la aplicación de salvaguardias en virtud del presente Acuerdo respecto de cada instalación, si así se especifica en los Arreglos Subsidiarios. La ABACC suministrará al Organismo información suplementaria sobre las normas de seguridad y protección de la salud que el Organismo deberá observar y que deberán cumplir los inspectores del Organismo en la instalación.

A r t í c u l o 43
El Estado Parte interesado, por conducto de la ABACC, facilitará al Organismo, para su examen, información sobre el diseño relativa a toda modificación de interés a efectos de salvaguardias en virtud del presente Acuerdo, y le comunicará todo cambio de la información que le haya facilitado en virtud del artículo 42, con suficiente antelación para que puedan reajustarse los procedimientos de salvaguardias cuando sea necesario.

A r t í c u l o 44
Finalidad del examen de la información sobre el diseño La información sobre el diseño facilitada al Organismo se utilizará para los fines siguientes:
a) identificar las características de las instalaciones y de los materiales nucleares que sean de interés para la aplicación de salvaguardias a los materiales nucleares con suficiente detalle para facilitar la verificación;
b) determinar las zonas de balance de materiales que se utilizarán a efectos contables y seleccionar aquellos puntos estratégicos que constituyen puntos clave de medición y que han de servir para determinar la corriente y existencias de materiales nucleares; al determinar tales zonas de balance de materiales se observarán, entre otros, los siguientes criterios:
i) la magnitud de la zona de balance de materiales deberá guardar relación con el grado de aproximación con que pueda establecerse el balance de materiales;
ii) al determinar la zona de balance de materiales se debe aprovechar toda oportunidad de servirse de la contención y de la vigilancia para tener una mayor garantía de que las mediciones de la corriente son completas, simplificando con ello la aplicación de salvaguardias y concentrando las operaciones de medición en los puntos clave de medición;
iii) si así lo pide un Estado Parte interesado por conducto de la ABACC, se podrá establecer una zona especial de balance de materiales alrededor de una fase del proceso que implique información delicada desde el punto de vista tecnológico, industrial o comercial; y
iv) respecto de instalaciones especialmente delicadas, se podrán seleccionar puntos clave de medición de forma tal que permitan al Organismo cumplir sus obligaciones en virtud del presente Acuerdo teniendo en cuenta el requisito de que el Organismo preserve los secretos tecnológicos;
c) fijar el calendario teórico y los procedimientos para levantar el inventario físico de los materiales nucleares con fines contables en virtud del presente Acuerdo;
d) determinar qué registros e informes son necesarios y fijar los procedimientos para la evaluación de los registros;
e) fijar requisitos y procedimientos para la verificación de la cantidad y ubicación de los materiales nucleares; y

f) elegir las combinaciones adecuadas de métodos y técnicas de contención y vigilancia y los puntos estratégicos en que han de aplicarse.
Los resultados del examen de la información sobre el diseño, según se hayan convenido entre la ABACC y el Organismo, se incluirán en los Arreglos Subsidiarios.

A r t í c u l o 45
Nuevo examen de la información sobre el diseño Se volverá a examinar la información sobre el diseño a la luz de los cambios en las condiciones de explotación, de los progresos en la tecnología de las salvaguardias o de la experiencia en la aplicación de los procedimientos de verificación, con miras a modificar las medidas que se hayan adoptado con arreglo al artículo 44.

A r t í c u l o 46
Verificación de la información sobre el diseño El Organismo, en cooperación con la ABACC y el Estado Parte interesado, podrá enviar inspectores a las instalaciones para que verifiquen la información sobre el diseño facilitada al Organismo con arreglo a los artículos 40 a 43, para los fines indicados en el artículo 44.

INFORMACIÓN RESPECTO DE LOS MATERIALES NUCLEARES QUE ESTÉN FUERA DE LAS INSTALACIONES

A r t í c u l o 47
El Estado Parte interesado, por conducto de la ABACC, facilitará al Organismo la siguiente información cuando hayan de utilizarse habitualmente materiales nucleares fuera de las instalaciones, según corresponda:
a) una descripción general del empleo de los materiales nucleares, su situación geográfica y el nombre y dirección del usuario que han de utilizarse para resolver asuntos de trámite; y
b) una descripción general de los procedimientos actuales y propuestos para la contabilidad y control de los materiales nucleares. La ABACC comunicará oportunamente al Organismo todo cambio en la información que le haya facilitado en virtud del presente artículo.

A r t í c u l o 48
La información que se facilite al Organismo con arreglo al artículo 47 podrá ser utilizada, en la medida en que proceda, para los fines que se establecen en los párrafos b) a f) del artículo 44.

SISTEMA DE REGISTROS

A r t í c u l o 49
La ABACC adoptará las medidas oportunas a fin de que se lleven registros respecto de cada zona de balance de materiales. Los Arreglos Subsidiarios describirán los registros que hayan de llevarse.

A r t í c u l o 50
La ABACC tomará las disposiciones necesarias para facilitar el examen de los registros por los inspectores, sobre todo si tales registros no se llevan en árabe, chino, español, francés, inglés o ruso.

A r t í c u l o 51
Los registros se conservarán durante cinco años por lo menos.

A r t í c u l o 52
Los registros consistirán, según proceda:
a) en registros contables de todos los materiales nucleares sometidos a salvaguardias en virtud del presente Acuerdo; y
b) en registros de operaciones correspondientes a instalaciones que contengan tales materiales nucleares.

A r t í c u l o 53

El sistema de mediciones en que se basen los registros utilizados para preparar los informes se ajustará a las normas internacionales más recientes o será equivalente, en calidad, a tales normas. Registros contables

A r t í c u l o 54
Los registros contables establecerán lo siguiente respecto de cada zona de balance de materiales:
a) todos los cambios en el inventario, de manera que sea posible determinar el inventario contable en todo momento;
b) todos los resultados de las mediciones que se utilicen para determinar el inventario físico; y
c) todos los ajustes y correcciones que se hayan efectuado respecto de los cambios en el inventario, los inventarios contables y los inventarios físicos.

A r t í c u l o 55
Los registros señalarán en el caso de todos los cambios en el inventario e inventarios físicos, y respecto de cada lote de materiales nucleares: la identificación de los materiales, los datos del lote y los datos de origen. Los registros darán cuenta por separado del uranio, del torio y del plutonio en cada lote de materiales nucleares. Para cada cambio en el inventario se indicará la fecha del cambio y, cuando proceda, la zona de balance de materiales de origen y la zona de balance de materiales de destino o el destinatario.

A r t í c u l o 56
Registros de operaciones
Los registros de operaciones establecerán, según proceda, respecto de cada zona de balance de materiales:
a) los datos de explotación que se utilicen para determinar los cambios en las cantidades y composición de los materiales nucleares;
b) los datos obtenidos en la calibración de los tanques e instrumentos y en el muestreo y análisis, los procedimientos para controlar la calidad de las mediciones y las estimaciones deducidas de los errores aleatorios y sistemáticos;
c) una descripción del orden de operaciones adoptado para preparar y efectuar el inventario físico, a fin de cerciorarse de que es exacto y completo; y
d) una descripción de las medidas adoptadas para averiguar la causa y la magnitud de cualquier pérdida accidental o no medida que pudiera haber.

SISTEMA DE INFORMES

A r t í c u l o 57
La ABACC facilitará al Organismo los informes que se detallan en los artículos 58 a 63 y 65 a 67 respecto de los materiales nucleares sometidos a salvaguardias en virtud del presente Acuerdo.

A r t í c u l o 58
Los informes se prepararán en español, en francés o en inglés, excepto si en los Arreglos Subsidiarios se especifica otra cosa.

A r t í c u l o 59
Los informes se basarán en los registros que se lleven de conformidad con los artículos 49 a 56 y consistirán, según proceda, en informes contables e informes especiales. Informes contables

A r t í c u l o 60
La ABACC facilitará al Organismo un informe inicial relativo a todos los materiales nucleares sometidos a salvaguardias en virtud del presente Acuerdo. Dicho informe inicial será remitido por la ABACC al Organismo dentro de un plazo de treinta días a partir del último día del mes en que entre en vigor el presente Acuerdo, y reflejará la situación en cada Estado Parte al último día de dicho mes.

A r t í c u l o 61

La ABACC presentará al Organismo los siguientes informes contables para cada zona de balance de materiales:
a) informes de cambios en el inventario que indiquen todos los cambios habidos en el inventario de materiales nucleares. Estos informes se enviarán tan pronto como sea posible y en todo caso dentro de los treinta días siguientes al final del mes en que hayan tenido lugar o se hayan comprobado los cambios en el inventario; y
b) informes de balance de materiales que indiquen el balance de materiales basado en un inventario físico de los materiales nucleares que se hallen realmente presentes en la zona de balance de materiales. Estos informes se enviarán tan pronto como sea posible y en todo caso dentro de los treinta días siguientes a la realización del inventario físico. Los informes se basarán en los datos de que se disponga en el momento de su preparación y podrán corregirse posteriormente de ser preciso.

A r t í c u l o 62
Los informes de cambios en el inventario especificarán la identificación de los materiales y los datos del lote para cada lote de materiales nucleares, la fecha del cambio en el inventario y, según proceda, la zona de balance de materiales de origen y la zona de balance de materiales de destino o el destinatario. Se acompañarán a estos informes notas concisas que: a) expliquen los cambios en el inventario, sobre la base de los datos de funcionamiento inscritos en los registros de operaciones, según se estipula en el párrafo a) del artículo 56; y b) describan, según especifiquen los Arreglos Subsidiarios, el programa de operaciones previsto, especialmente la realización de un inventario físico.

A r t í c u l o 63
La ABACC informará sobre todo cambio en el inventario, ajuste o corrección, sea periódicamente en forma de lista global, sea respecto de cada cambio. Los cambios en el inventario figurarán en los informes expresados en lotes. Conforme se especifique en los Arreglos Subsidiarios, los cambios pequeños en el inventario de los materiales nucleares, como el traslado de muestras para análisis, podrán combinarse en un lote y notificarse como un solo cambio en el inventario.

A r t í c u l o 64
El Organismo presentará a la ABACC estadillos semestrales del inventario contable de los materiales nucleares sometidos a salvaguardias en virtud del presente Acuerdo, para cada zona de balance de materiales, sobre la base de los informes de cambios en el inventario correspondientes al período comprendido en cada uno de dichos estadillos.

A r t í c u l o 65
Los informes de balance de materiales incluirán los siguientes asientos, a menos que la ABACC y el Organismo acuerden otra cosa:
a) el inventario físico inicial;
b) los cambios en el inventario (en primer lugar los aumentos y a continuación las disminuciones);
c) el inventario contable final;
d) las diferencias remitente/destinatario;
e) el inventario contable final ajustado;
f) el inventario físico final; y
g) los materiales no contabilizados.
A cada informe de balance de materiales se adjuntará un estadillo del inventario físico, en el que se enumeren por separado todos los lotes y se especifique la identificación de los materiales y los datos del lote para cada lote.

A r t í c u l o 66
Informes especiales La ABACC presentará sin demora informes especiales:
a) si cualquier incidente o circunstancia excepcionales inducen a la ABACC a pensar que se ha producido o se ha podido producir una pérdida de materiales nucleares que exceda de los límites que, a este efecto, se especifiquen en los Arreglos Subsidiarios; o
b) si la contención experimenta inesperadamente, con respecto a la especificada en los Arreglos Subsidiarios, variaciones tales que resulte posible la retirada no autorizada de materiales nucleares.

A r t í c u l o 67
Ampliación y aclaración de los informes Si así lo pidiera el Organismo, la ABACC le facilitará ampliaciones o aclaraciones sobre cualquier informe, en la medida que sea pertinente a efectos de salvaguardias en virtud del presente Acuerdo.

INSPECCIONES

A r t í c u l o 68
Disposiciones generales El Organismo tendrá derecho a efectuar inspecciones de conformidad con lo dispuesto en el presente Acuerdo. Finalidad de las inspecciones

A r t í c u l o 69
El Organismo podrá efectuar inspecciones ad a.C. a fin de:
a) verificar la información contenida en el informe inicial relativo a los materiales nucleares sometidos a salvaguardias en virtud del presente Acuerdo;
b) identificar y verificar los cambios de la situación que se hayan producido entre la fecha del informe inicial y la fecha de entrada en vigor de los Arreglos Subsidiarios respecto de una instalación determinada y, en caso de que los Arreglos Subsidiarios dejen de estar en vigor respecto de una determinada instalación; y
c) identificar, y si fuera posible verificar, la cantidad y composición de los materiales nucleares sometidos a salvaguardias en virtud del presente Acuerdo en conformidad con los artículos 91, 94 y 96 antes de que se trasladen a Estados Parte, fuera de Estados Parte o entre Estados Parte.

A r t í c u l o 70
El Organismo podrá efectuar inspecciones ordinarias a fin de:
a) verificar que los informes concuerden con los registros;
b) verificar la ubicación, identidad, cantidad y composición de todos los materiales nucleares sometidos a salvaguardias en virtud del presente Acuerdo; y
c) verificar la información sobre las posibles causas de los materiales no contabilizados, de las diferencias remitente-destinatario y de las incertidumbres en el inventario contable.

A r t í c u l o 71
Con sujeción a los procedimientos establecidos en el artículo 75, el Organismo podrá efectuar inspecciones especiales:
a) a fin de verificar la información contenida en los informes especiales; o
b) si el Organismo estima que la información facilitada por la ABACC, incluidas las explicaciones dadas por la ABACC y la información obtenida mediante las inspecciones ordinarias, no es adecuada para que el Organismo desempeñe sus obligaciones en virtud del presente Acuerdo. Se considerará que una inspección es especial cuando, o bien es adicional a las actividades de inspección ordinaria estipuladas en los artículos 76 a 80, o bien implica el acceso a información o lugares adicionales además del acceso especificado en el artículo 74 para las inspecciones ad hoc y ordinarias, o bien se dan ambas circunstancias. Alcance de las inspecciones

A r t í c u l o 72
A los fines establecidos en los artículos 69 a 71, el Organismo podrá:
a) examinar los registros que se lleven con arreglo a los artículos 49 a 56;
b) efectuar mediciones independientes de todos los materiales nucleares sometidos a salvaguardias en virtud del presente Acuerdo;
c) verificar el funcionamiento y calibración de los instrumentos y demás equipo de medición y control;
d) aplicar medidas de vigilancia y contención y hacer uso de ellas; y
e) emplear otros métodos objetivos que se hayan comprobado que son técnicamente viables.
A r t í c u l o 73
Dentro del ámbito del artículo 72, el Organismo estará facultado para:
a) observar que las muestras tomadas en los puntos clave de medición, a efectos de la contabilidad de balance de materiales, se toman de conformidad con procedimientos que permitan obtener muestras representativas, observar el tratamiento y análisis de las muestras y obtener duplicados de ellas;

b) observar que las mediciones de los materiales nucleares efectuadas en los puntos clave de medición, a efectos de la contabilidad de balance de materiales, son representativas y observar asimismo la calibración de los instrumentos y del equipo utilizados;
c) concertar con la ABACC y, en la medida que sea necesaria, con el Estado Parte interesado que, si fuera necesario:
i) se efectúen mediciones adicionales y se tomen muestras adicionales para uso del Organismo;
ii) se analicen las muestras patrón analíticas del Organismo;
iii) se utilicen patrones absolutos apropiados para calibrar los instrumentos y demás equipo; y
iv) se efectúen otras calibraciones;
d) disponer la utilización de su propio equipo para realizar mediciones independientes y a efectos de vigilancia y, si así se conviniera y especificara en los Arreglos Subsidiarios, disponer la instalación de tal equipo;
e) fijar sus propios precintos y demás dispositivos de identificación y reveladores de violación en los elementos de contención, si así se conviniera y especificara en los Arreglos
Subsidiarios; y
f) concertar con la ABACC o el Estado Parte interesado el envío de las muestras tomadas para uso del Organismo. Acceso para las inspecciones

A r t í c u l o 74
a) Para los fines especificados en los párrafos a) y b) del artículo 69 y hasta el momento en que se hayan especificado los puntos estratégicos en los Arreglos Subsidiarios, o en el caso de que los Arreglos Subsidiarios dejen de estar en vigor, los inspectores del Organismo tendrán acceso a cualquier punto en que el informe inicial o cualquier inspección realizada en relación con el mismo indique que se encuentran materiales nucleares;
b) Para los fines especificados en el párrafo c) del artículo 69,los inspectores del Organismo tendrán acceso a cualquier punto respecto del cual el Organismo haya recibido notificación de conformidad con el apartado iii) del párrafo d) del artículo 90, el apartado iii) del párrafo d) del artículo 93 o el artículo 95;
c) Para los fines especificados en el artículo 70, los inspectores del Organismo tendrán acceso solo a los puntos estratégicos especificados en los Arreglos Subsidiarios y a los registros que se lleven con arreglo a los artículos 49 a 56; y
d) En caso de que la ABACC llegue a la conclusión de que circunstancias extraordinarias requieren mayores limitaciones del acceso por parte del Organismo, la ABACC y el Organismo harán prontamente arreglos a fin de que el Organismo pueda desempeñar sus obligaciones de salvaguardias a la luz de esas limitaciones. El Director General comunicará todo arreglo de este tipo a la Junta.

A r t í c u l o 75
En circunstancias que puedan dar lugar a inspecciones especiales para los fines especificados en el artículo 71, el Estado Parte interesado, la ABACC y el Organismo se consultarán sin demora. Como resultado de estas consultas, el Organismo podrá: a)efectuar inspecciones además de las actividades de inspección ordinaria previstas en los artículos 76 a 80; y b) tener acceso, de acuerdo con el Estado Parte interesado y la ABACC, a otra información y otros lugares además de los especificados en el artículo 74. Todo desacuerdo relativo a la necesidad de acceso adicional se resolverá de conformidad con los artículos 21 y 22; de ser esencial y urgente que la ABACC, un Estado Parte o Estados Parte adopten alguna medida, lo dispuesto en el artículo 14 será de aplicación. Frecuencia y rigor de las inspecciones ordinarias

A r t í c u l o 76
El Organismo mantendrá el número, rigor y duración de las inspecciones ordinarias, observando una cronología óptima, al mínimo compatible con la eficaz puesta en práctica de los procedimientos de salvaguardias establecidos en el presente Acuerdo, y aprovechará al máximo y de la manera más económica posible los recursos de inspección de que disponga.

A r t í c u l o 77
El Organismo podrá efectuar una inspección ordinaria anual de aquellas instalaciones y zonas de balance de materiales situadas fuera de las instalaciones, cuyo contenido o cuyo caudal anual de materiales nucleares, si es que fuera mayor, no exceda de 5 kilogramos efectivos.

A r t í c u l o 78
El número, rigor, duración, cronología y modalidad de las inspecciones ordinarias en las instalaciones cuyo contenido o caudal anual de materiales nucleares exceda de 5 kilogramos efectivos se determinarán partiendo de la base de que, en el caso máximo o límite, el régimen de inspección no será más riguroso de lo que sea necesario y suficiente para tener un conocimiento constante de la corriente y existencias de materiales nucleares, y el volumen total máximo de las inspecciones ordinarias respecto de tales instalaciones se determinará según se indica a continuación:
a) en el caso de los reactores y de las instalaciones de almacenamiento precintadas, el volumen total máximo de las inspecciones ordinarias al año se determinará calculando un sexto de año-hombre de inspección para cada una de estas instalaciones;
b) en el caso de las instalaciones que no sean reactores o instalaciones de almacenamiento precintadas, en las que haya plutonio o uranio enriquecido a más del 5%, el volumen total máximo de inspecciones ordinarias al año se determinará calculando para cada una de esas instalaciones 30 x _E días-hombre de inspección al año, en donde E corresponde al valor de las existencias o del caudal anual de materiales nucleares, si éste fuera mayor, expresado en kilogramos efectivos. El máximo fijado para cualquiera de esas instalaciones no será inferior a 1,5 años - hombre de inspección;
c) En el caso de las instalaciones no comprendidas en los anteriores párrafos a) o b), el volumen total máximo de inspecciones ordinarias al año se determinará calculando para cada una de esas instalaciones un tercio de año-hombre de inspección más 0,4 x E días-hombre de inspección al año, en donde E corresponde al valor de las existencias o del caudal anual de materiales nucleares, si éste fuera mayor, expresado en kilogramos efectivos. Las Partes en el presente Acuerdo podrán convenir en enmendar las cifras especificadas en el presente artículo para el volumen máximo de inspección, si la Junta determina que tal enmienda es razonable.

A r t í c u l o 79
Con sujeción a los anteriores artículos 76 a 78, los criterios que se utilizarán para determinar en la realidad el número, rigor, duración, cronología y modalidad de las inspecciones ordinarias de cualquier instalación comprenderán:
a) la forma de los materiales nucleares, en especial si los materiales nucleares se encuentran a granel o contenidos en una serie de partidas distintas, su composición química e isotópica, así como su accesibilidad;
b) la eficacia de las salvaguardias de la ABACC, comprendida la medida en que los explotadores de las instalaciones sean funcionalmente independientes de las salvaguardias de la ABACC; la
medida en que la ABACC haya puesto en práctica las medidas especificadas en el artículo 33; la prontitud de los informes presentados al Organismo; su concordancia con la verificación independiente efectuada por el Organismo; y la magnitud y grado de aproximación de los materiales no contabilizados, tal como haya verificado el Organismo;
c) las características del ciclo del combustible nuclear en los Estados Parte, en especial, el número y tipos de instalaciones que contengan materiales nucleares sometidos a salvaguardias;
las características de estas instalaciones que sean de interés para las salvaguardias, en particular el grado de contención; la medida en que el diseño de estas instalaciones facilite la verificación de la corriente y existencias de materiales nucleares, y la medida en que se pueda establecer una correlación entre la información procedente de distintas zonas de balance de materiales;
d) el grado de interdependencia internacional, en especial la medida en que los materiales nucleares se reciban de otros Estados o se envíen a otros Estados para su empleo o tratamiento; cualquier actividad de verificación realizada por el Organismo en relación con los mismos; y la medida en que las actividades nucleares en cada Estado Parte se relacionen recíprocamente con las de otros Estados; y
e) los progresos técnicos en la esfera de las salvaguardias, comprendida la utilización de técnicas estadísticas y del muestreo aleatorio al evaluar la corriente de materiales nucleares.

A r t í c u l o 80
La ABACC y el Organismo se consultarán si la ABACC o el Estado Parte interesado consideran que las operaciones de inspección se están concentrando indebidamente en determinadas instalaciones. Notificación de las inspecciones

A r t í c u l o 81
El Organismo avisará por anticipado a la ABACC y al Estado Parte interesado de la llegada de los inspectores del Organismo a las instalaciones o a las zonas de balance de materiales situadas fuera de las instalaciones según se indica a continuación:
a) cuando se trate de inspecciones ad hoc con arreglo al párrafo c) del artículo 69, con una antelación mínima de 24 horas; cuando se trate de las efectuadas con arreglo a los párrafos a) y b) del artículo 69, así como de las actividades previstas en el artículo 46, con una antelación mínima de una semana;
b) cuando se trate de inspecciones especiales con arreglo al artículo 71, tan pronto como sea posible después de que la ABACC, el Estado Parte interesado y el Organismo se hayan consultado como se estipula en el artículo 75, entendiéndose que el aviso de llegada constituirá normalmente parte de dichas consultas; y
c) cuando se trate de inspecciones ordinarias con arreglo al artículo 70, con una antelación mínima de 24 horas respecto de las instalaciones a que se refiere el párrafo b) del artículo 78 y respecto de instalaciones de almacenamiento precintadas que contengan plutonio o uranio enriquecido a más del 5%, y de una semana en todos los demás casos. Tal aviso de inspección comprenderá los nombres de los inspectores del Organismo e indicará las instalaciones y las zonas de balance de materiales situadas fuera de las instalaciones que serán visitadas, así como los períodos de tiempo durante los cuales serán visitadas. Cuando los inspectores del Organismo provengan de fuera de los Estados Parte, el Organismo avisará también por anticipado el lugar y la hora de su llegada a los Estados Parte.

A r t í c u l o 82
No obstante lo dispuesto en el artículo 81, como medida suplementaria el Organismo podrá llevar a cabo, sin preaviso, una parte de las inspecciones ordinarias con arreglo al artículo 78, conforme al principio del muestreo aleatorio. Al realizar cualquier inspección no anunciada, el Organismo tendrá plenamente en cuenta todo programa de operaciones notificados con arreglo al párrafo b) del artículo 62. Asimismo, siempre que sea posible, y basándose en el programa de operaciones, el Organismo comunicará periódicamente a la ABACC y al Estado Parte interesado, utilizando los procedimientos especificados en los Arreglos Subsidiarios, su programa general de inspecciones anunciadas y no anunciadas, indicando los períodos generales en que se prevean tales inspecciones. Al ejecutar cualquier inspección no anunciada, el Organismo hará todo cuanto pueda por reducir al mínimo las dificultades de orden práctico para la ABACC y el Estado Parte interesado y para los explotadores de las instalaciones, teniendo presente las disposiciones pertinentes de los artículos 42 y 87. De igual manera, la ABACC y el Estado Parte interesado harán todo cuanto puedan para facilitar la labor de los inspectores del Organismo. Designación de los inspectores del Organismo

A r t í c u l o 83
Para la designación de los inspectores se aplicarán los siguientes procedimientos:
a) el Director General comunicará a los Estado Parte, por conducto de la ABACC, por escrito el nombre, calificaciones profesionales, nacionalidad, categoría y demás detalles que puedan ser pertinentes, de cada funcionario del Organismo que proponga para ser designado como inspector para los Estados Parte.
b) los Estados Parte, por conducto de la ABACC, comunicarán al Director General, dentro del plazo de 30 días a partir de la recepción de tal propuesta, si la aceptan;
c) el Director General podrá designar a cada funcionario que haya sido aceptado por los Estados Parte, por conducto de la ABACC, como uno de los inspectores del Organismo para los Estados Parte, e informará a los Estados Parte, por conducto de la ABACC, de tales designaciones; y
d) el Director General, actuando en respuesta a una petición de los Estados Parte, por conducto de la ABACC, o por propia iniciativa, informará inmediatamente a los Estados Parte, por conducto de la ABACC, de que la designación de un funcionario como inspector del Organismo para los Estados Parte ha sido retirada. No obstante, respecto de los inspectores del Organismo necesarios para las actividades previstas en el artículo 46 y para efectuar inspecciones ad hoc con arreglo a los párrafos a) y b) del artículo 79, los procedimientos de designación deberán concluirse, de ser posible, dentro de los 30 días siguientes a la entrada en vigor del presente Acuerdo. Si la designación no fuera

posible dentro de este plazo los inspectores del Organismo para tales fines se designarán con carácter temporal.

A r t í c u l o 84
Los Estados Parte concederán o renovarán lo más rápidamente posible los visados oportunos, cuando se precisen éstos, a cada inspector del Organismo designado en conformidad con el artículo 83. Conducta y visitas de los inspectores del Organismo

A r t í c u l o 85
Los inspectores del Organismo, en el desempeño de sus funciones en virtud de los artículos 46 y 69 a 73, desarrollarán sus actividades de manera que se evite toda obstaculización o demora en la construcción, puesta en servicio o explotación de las instalaciones, y que no afecten a su seguridad. En particular, los inspectores no pondrán personalmente en funcionamiento una instalación ni darán instrucciones al personal de ella para que efectúe ninguna operación. Si los inspectores del Organismo consideran que, con arreglo a los artículos 72 y 73, el explotador debe efectuar determinadas operaciones en una instalación, los inspectores habrán de formular la oportuna decisión.

A r t í c u l o 86
Cuando los inspectores precisen de servicios que se puedan obtener en un Estado Parte, comprendido el empleo de equipo, para llevar a cabo las inspecciones, la ABACC y el Estado Parte interesado facilitarán la obtención de tales servicios y el empleo de tal equipo por parte de los inspectores del Organismo.

A r t í c u l o 87
La ABACC y el Estado Parte interesado tendrán derecho a hacer acompañar a los inspectores del Organismo, durante sus inspecciones, por sus inspectores y por representantes de ese Estado Parte, respectivamente, siempre que los inspectores del Organismo no sufran por ello demora alguna ni se vean obstaculizados de otro modo en el ejercicio de sus funciones. INFORMES SOBRE LAS ACTIVIDADES DE VERIFICACIÓN EFECTUADAS POR EL ORGANISMO

A r t í c u l o 88
El Organismo comunicará a la ABACC:
a) los resultados de sus inspecciones, a los intervalos que se especifiquen en los arreglos subsidiarios; y
b) las conclusiones a que llegue a partir de sus actividades de verificación en el Estado Parte interesado, en particular mediante informes relativos a cada zona de balance de materiales, los cuales se prepararán tan pronto como sea posible después de que se haya realizado un inventario físico y lo haya verificado el Organismo, y se haya efectuado un balance de materiales.

TRASLADOS A ESTADOS PARTE, FUERA DE ESTADOS PARTE Y ENTRE ESTADOS PARTE

A r t í c u l o 89
Los materiales nucleares sometidos o que deben quedar sometidos a salvaguardias en virtud del presente Acuerdo que sean objeto de traslado fuera de los Estados Parte, a un Estado Parte o entre Estados Parte se considerarán, a los efectos del presente Acuerdo, bajo la responsabilidad de la ABACC y del Estado Parte interesado:
a) cuando se trate de importaciones a los Estados Parte provenientes de otro Estado, desde el momento en que tal responsabilidad cese de incumbir al Estado exportador hasta, como máximo, el momento en que los materiales nucleares lleguen a su destino;
b) cuando se trate de exportaciones procedentes de Estados Parte a otro Estado, hasta el momento en que el Estado destinatario asuma esa responsabilidad y, como máximo, hasta el momento en que los materiales nucleares lleguen a su destino; y
c) cuando se trate de traslados entre los Estados Parte, desde el momento de la transferencia de responsabilidad y, como máximo, hasta el momento en que los materiales nucleares lleguen a su destino. El punto en que se haga el traspaso de la responsabilidad se determinará de conformidad con los arreglos apropiados que concierten la ABACC y el Estado Parte o los Estados Parte

interesados y, en el caso de traslados a los Estados Parte o desde ellos, el Estado a que se transfieran o del que se reciban los materiales nucleares. No se considerará que la ABACC, un Estado Parte en este Acuerdo ni ningún otro Estado han asumido tal responsabilidad respecto de materiales nucleares por el mero hecho de que dichos materiales nucleares se encuentren en tránsito a través o por encima del territorio de un Estado, o se estén transportando en buque bajo su pabellón o en sus aeronaves. Traslados fuera de los Estados Parte

A r t í c u l o 90

a) La ABACC notificará al Organismo todo traslado proyectado fuera de los Estados Parte de materiales nucleares sometidos a salvaguardias en virtud del presente Acuerdo, si el envío excede de un kilogramo efectivo o si se van a efectuar varios envíos por separado al mismo Estado, dentro del plazo de tres meses, de menos de un kilogramo efectivo cada uno, pero cuyo total exceda de un kilogramo efectivo.

b) Se hará esta notificación al Organismo una vez concluidos los arreglos contractuales que rijan el traslado y, normalmente, por lo menos dos semanas antes de que los materiales nucleares hayan de estar preparados para su transporte.

c) La ABACC y el Organismo podrán convenir en diferentes modalidades de notificación por anticipado.

d) La notificación especificará:

i) la identificación y, si fuera posible, la cantidad y composición prevista de los materiales nucleares que vayan a ser objeto de traslado, y la zona de balance de materiales de la que procederán;

ii) el Estado a que van destinados los materiales nucleares;

iii) las fechas y lugares en que los materiales nucleares estarán preparados para su transporte;

iv) las fechas aproximadas de envío y llegada de los materiales nucleares; y

v) en qué punto de la operación de traslado el Estado destinatario asumirá la responsabilidad de los materiales nucleares a efectos del presente Acuerdo, y la fecha probable en que se alcanzará este punto.

A r t í c u l o 91

La notificación a que se refiere el artículo 90 será de carácter tal que permita al Organismo efectuar una inspección ad hoc, si fuera necesario, para identificar y, de ser posible, verificar la cantidad y composición de los materiales nucleares antes de que sean trasladados fuera de los Estados Parte y, si el Organismo lo desea o la ABACC lo pide, fijar precintos a los materiales nucleares una vez que estén preparados para su transporte. No obstante, el traslado de los materiales nucleares no deberá sufrir demora alguna a causa de las medidas de inspección o verificación que adopte o tenga previstas el Organismo como consecuencia de tal notificación.

A r t í c u l o 92

El material nuclear sometido a las salvaguardias del Organismo en un Estado Parte no se exportará a menos que dicho material vaya a estar sometido a salvaguardias en el Estado receptor y hasta que el Organismo haya efectuado los arreglos apropiados para aplicar salvaguardias a dicho material. Traslados a Estados Parte

A r t í c u l o 93

a) La ABACC notificará al Organismo todo traslado previsto a los Estados Parte de materiales nucleares que deban quedar sometidos a salvaguardias en virtud del presente Acuerdo, si el envío excede de un kilogramo efectivo o si se han de recibir del mismo Estado varios envíos por separado dentro de un plazo de tres meses, de menos de un kilogramo efectivo cada uno, pero cuyo total exceda de un kilogramo efectivo.

b) La llegada prevista de los materiales nucleares se notificará al Organismo con la mayor antelación posible y en ningún caso después de la fecha en que el Estado Parte asuma la responsabilidad de los materiales nucleares.

c) La ABACC y el Organismo podrán convenir en diferentes modalidades de notificación por anticipado.

d) La notificación especificará:

i) la identificación y, si fuera posible, la cantidad y composición prevista de los materiales nucleares;

ii) en qué punto de la operación de traslado asumirá el Estado Parte la responsabilidad de los materiales nucleares a los efectos del presente Acuerdo, y la fecha probable en que se alcanzará este punto; y

iii) la fecha prevista de llegada, y el lugar y la fecha en que se tiene el propósito de desembalar los materiales nucleares.

A r t í c u l o 94
La notificación a que se refiere el artículo 93 será de carácter tal que permita al Organismo efectuar una inspección ad hoc, si fuera necesario, para identificar y, de ser posible, verificar la cantidad y composición de los materiales nucleares en el momento de desembalar la remesa. No obstante, el Desembalaje no deberá sufrir demora alguna a causa de las medidas que adopte o tenga previsto adoptar el Organismo como consecuencia de tal notificación. Traslados entre Estados Parte

A r t í c u l o 95
En los Arreglos Subsidiarios se especificarán los procedimientos del Organismo para la notificación y verificación de los traslados internos de materiales nucleares para traslados de materiales nucleares entre Estados Parte. Mientras los Arreglos Subsidiarios no estén en vigor, el traslado se notificará al Organismo con la mayor antelación posible pero, en cualquier caso, no menos de dos semanas antes en que tenga lugar el traslado.

A r t í c u l o 96
La notificación a que se refiere el artículo 95 será de carácter tal que permita al Organismo efectuar, de ser necesario, una inspección ordinaria o ad hoc, según sea apropiado, para identificar y, de ser posible verificar la cantidad y composición de los materiales nucleares antes de su traslado entre Estados Parte y, si el Organismo lo desea o la ABACC lo solicita, fijar precintos en el material nuclear cuando se lo ha preparado para su traslado. Informes especiales

A r t í c u l o 97
La ABACC preparará un informe especial conforme se prevé en el artículo 66 si cualquier incidente o circunstancias excepcionales indujeran a la ABACC a pensar que se ha producido o se ha podido producir una pérdida de materiales nucleares, incluido el que se produzca una demora importante durante el traslado a un Estado Parte, de un Estado Parte o entre Estados

P A R T E III

DEFINICIONES

A r t í c u l o 98
A efectos del presente Acuerdo:
1. ABACC significa la persona jurídica creada por el Acuerdo SCCC.
2. A. por ajuste se entiende un asiento efectuado en un informe o en un registro contables que indique una diferencia remitente-destinatario o material no contabilizado.
B. por caudal anual de materiales se entiende, a efectos de los artículos 77 y 78, la cantidad de materiales nucleares que salgan anualmente de una instalación que funcione a su capacidad normal.
C. por lote se entiende una porción de materiales nucleares que se manipula como una unidad a efectos de contabilidad en un punto clave de medición y para la cual la composición y la cantidad se definen por un solo conjunto de especificaciones o de mediciones. Dichos materiales nucleares pueden hallarse a granel o distribuidos en una serie de partidas distintas.
D. por datos del lote se entiende el peso total de cada elemento de material nuclear y, en el caso del plutonio y del uranio, cuando proceda, la composición isotópica. Las unidades de contabilización serán las siguientes:
a) los gramos de plutonio contenido;
b) los gramos de uranio total y los gramos de uranio 235 más uranio 233 contenidos en el caso del uranio enriquecido en esos isótopos; y
c) los kilogramos de torio contenido, de uranio natural o de uranio empobrecido. A los efectos de la presentación de informes se sumarán los pesos de las distintas partidas de un mismo lote antes de redondear a la unidad más próxima.

E. por inventario contable de una zona de balance de materiales se entiende la suma algebraica del inventario físico más reciente, más todos los cambios que hayan tenido lugar en el inventario después de efectuado el inventario físico.
F. por corrección se entiende un asiento efectuado en un informe o en un registro contable al efecto de rectificar un error identificado o de reflejar una medición mejorada de una cantidad ya inscrita en el registro o informe. Toda corrección debe señalar de modo inequívoco el asiento al que corresponde.
G. por kilogramo efectivo se entiende una unidad especial utilizada en las salvaguardias de materiales nucleares. Las cantidades en kilogramos efectivos se obtienen tomando:
a) cuando se trata de plutonio, su peso en kilogramos;
b) cuando se trata de uranio con un enriquecimiento del 0,01 (1%) como mínimo, su peso en kilogramos multiplicado por el cuadrado de su enriquecimiento;
c) cuando se trata de uranio con un enriquecimiento inferior al 0,01 (1%) y superior al 0,005 (0,5%) su peso en kilogramos multiplicado por 0,0001; y
d) cuando se trata de uranio empobrecido con un enriquecimiento del 0,005 (0,5%) como máximo, y cuando se trata de torio, su peso en kilogramos multiplicado por 0,00005.
H. Por enriquecimiento se entiende la razón entre el peso total de los isótopos uranio 233 y uranio 235, y el peso total del uranio de que se trate.
I. Por instalación se entiende:
a) un reactor, un conjunto crítico, una planta de transformación, una planta de fabricación, una planta de reelaboración, una planta de separación de isótopos o una unidad de almacenamiento por separado; o
b) cualquier lugar en el que habitualmente se utilicen materiales nucleares en cantidades superiores a un kilogramo efectivo.
J. Por cambio en el inventario se entiende un aumento o disminución, en términos de lotes, de materiales nucleares dentro de una zona de balance de materiales; tal cambio ha de comprender uno de los siguientes:
a) aumentos:
i) importaciones;
ii) entradas de procedencia nacional: entradas de otras zonas de balance de materiales, entradas procedentes de una de las actividades a que se refiere el artículo 13 o entradas en el punto inicial de las salvaguardias;
iii) producción nuclear: producción de materiales fisionables especiales en un reactor; y
iv) exenciones anuladas: reanudación de la aplicación de salvaguardias a materiales nucleares anteriormente exentos de ellas en razón de su empleo o de su cantidad.
b) disminuciones:
i) exportaciones;
ii) envíos a otros puntos del territorio nacional: traslados a otras zonas de balance de materiales o envíos con destino a una de las actividades mencionadas en el artículo 13;
iii) pérdidas nucleares: pérdida de materiales nucleares debida a su transformación en otro(s) elemento(s) o isótopo(s) como consecuencia de reacciones nucleares;
iv) materiales descartados medidos: materiales nucleares que se han medido o evaluado sobre la base de mediciones y con los cuales se ha procedido de tal forma que ya no se prestan a su ulterior empleo en actividades nucleares;
v) desechos retenidos: materiales nucleares producidos en operaciones de tratamiento o en accidentes de funcionamiento, que se consideran irrecuperables de momento pero que se conservan almacenados;
vi) exenciones: exención de materiales nucleares de la aplicación de salvaguardias en razón de su empleo o de su cantidad; y
vii) otras pérdidas: por ejemplo, pérdidas accidentales (es decir, pérdidas irreparables y no intencionadas de materiales nucleares como consecuencia de un accidente de funcionamiento) o robos.
K. por punto clave de medición se entiende un punto en que los materiales nucleares se encuentren en una forma tal que puedan medirse para determinar la corriente o existencias de materiales. Por lo tanto, los puntos clave de medición comprenden, sin quedar limitados a ellos, los puntos de entrada y los puntos de salida de materiales nucleares (incluidos los materiales descartados medidos) y los puntos de almacenamiento de las zonas de balance de materiales.

L. por año-hombre de inspección se entiende, a los efectos del artículo 78, 300 días-hombre de inspección, considerándose como un día-hombre un día durante el cual un inspector tiene acceso en cualquier momento a una instalación por un total no superior a ocho horas.
M. por zona de balance de materiales se entiende una zona situada dentro o fuera de una instalación en la que:
a) pueda determinarse la cantidad de materiales nucleares que entren o salgan de cada zona de balance de materiales en cada traslado; y
b) pueda determinarse cuando sea necesario, de conformidad con procedimientos especificados, el inventario físico de los materiales nucleares en cada zona de balance de materiales; a fin de poder establecer, a efectos de las salvaguardias del Organismo, el balance de materiales.
N. por material no contabilizado se entiende la diferencia entre el inventario contable y el inventario físico.
O. por materiales nucleares se entiende cualesquiera materiales básicos o cualesquiera materiales fisionables especiales, según se definen en el Artículo XX del Estatuto. Se entenderá que la expresión "materiales básicos" no se refiere ni a los minerales ni a la ganga. Si, después de la entrada en vigor del presente Acuerdo, la Junta determinase en virtud del Artículo XX del
Estatuto que han de considerarse otros nuevos materiales como materiales básicos o como materiales fisionables especiales, tal determinación solo cobrará efectividad a los efectos del presente Acuerdo después de que haya sido aceptada por la ABACC y los
Estados Parte.
P. por inventario físico se entiende la suma de todas las evaluaciones medidas o deducidas de las cantidades de los lotes de materiales nucleares existentes en un momento determinado dentro de una zona de balance de materiales, obtenidas de conformidad con procedimientos especificados.
Q. por diferencia remitente-destinatario se entiende la diferencia entre la cantidad de materiales nucleares de un lote declarada por la zona de balance de materiales que la remite y la cantidad medida en la zona de balance de materiales que lo recibe.
R. por cantidad significativa se entiende la cantidad significativa de material nuclear, según la ha determinado el Organismo.
S. por datos de origen se entiende todos aquellos datos, registrados durante las mediciones o las calibraciones o utilizados para deducir relaciones empíricas, que identifican a los materiales nucleares y proporcionan los datos del lote. Los datos de origen pueden comprender, por ejemplo, el peso de los compuestos, los factores de conversión para determinar el peso del elemento, la densidad relativa, la concentración en elementos, las razones isotópicas, la relación entre el volumen y las lecturas manométricas, y la relación entre el plutonio producido y la potencia generada.
T. por punto estratégico se entiende un punto seleccionado durante el examen de la información sobre el diseño en el que, en condiciones normales y cuando se combine con la información obtenida en todos los puntos estratégicos considerados conjuntamente, pueda obtenerse y verificarse la información necesaria y suficiente para la puesta en práctica de las medidas de salvaguardias; un punto estratégico puede comprender cualquier punto en el que se realicen mediciones clave en relación con la contabilidad del balance de materiales y en el que se apliquen medidas de contención y de vigilancia.

HECHO en Viena, a los trece días del mes de diciembre de 1991, en cuadruplicado.

4. ACUERDO ENTRE EL GOBIERNO DE LA REPÚBLICA ARGENTINA Y EL GOBIERNO DE LA FEDERACIÓN DE RUSIA PARA LA COOPERACIÓN EN LOS USOS PACÍFICOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR[2]

[2] Extraído del Sistema de Gestión Documental Electrónica bajo el número de IF-2018-33043313-APN-DSGA#SLYT – Administración Pública Nacional – Honorable Cámara de Diputados de la Nación.

27 450

ACUERDO

ENTRE

EL GOBIERNO DE LA REPÚBLICA ARGENTINA

Y

EL GOBIERNO DE LA FEDERACIÓN DE RUSIA

PARA LA COOPERACIÓN EN LOS USOS PACÍFICOS

DE LA ENERGÍA NUCLEAR

El Gobierno de la República Argentina y el Gobierno de la Federación de Rusia, denominados en adelante "las Partes",

Teniendo en cuenta las relaciones de amistad existentes entre ambos Estados,

Reconociendo que ambos Estados son Estados miembros del Organismo Internacional de Energía Atómica (en adelante, el OIEA) y Partes del Tratado de No Proliferación de Armas Nucleares, del 1 de Julio de 1968, de la Convención de Viena sobre Responsabilidad Civil por Daños Nucleares, del 21 de mayo de 1963, de la Convención sobre la Protección Física de Materiales Nucleares, del 26 de octubre de 1979, de la Convención sobre la Pronta Notificación de Accidentes Nucleares, del 26 de septiembre de 1986, de la Convención de Seguridad Nuclear, del 17 de junio de 1994, de la Convención de Asistencia en Caso de Accidente Nuclear o Emergencia Radiológica, del 26 de septiembre de 1986, y de la Convención Conjunta de Seguridad de Gestión de Combustible Gastado y Seguridad en la Gestión de Residuos Radioactivos del 5 de septiembre de 1997,

Teniendo en cuenta el Acuerdo entre la Unión de las Repúblicas Socialistas Soviéticas y el Organismo Internacional de Energía Atómica para la aplicación de salvaguardias en la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas del 21 de febrero de 1985, así como también el Protocolo entre la Federación de Rusia y el Organismo Internacional de Energía Atómica así como también el Acuerdo entre la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas y el Organismo Internacional de Energía Atómica en la aplicación de salvaguardias en la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas, del 22 de marzo de 2000.

Teniendo en cuenta el Acuerdo entre la República Argentina, la República Federativa del Brasil, la Agencia Brasileño-Argentino de Contabilidad y Control de Materiales Nucleares y el Organismo Internacional de Energía Atómica para la Aplicación de Salvaguardias del 13 de diciembre de 1991, así como también el Protocolo de este Acuerdo, del 13 de diciembre de 1991,

MRE y C
2532/2014

IF-2018-33043313-APN-DSGA#SLYT

página 2 de 18

27 450

Conscientes de que el uso de la energía nuclear con fines pacíficos, y la garantía de la seguridad nuclear y radiológica constituyen un factor importante en garantizar el desarrollo social y económico de ambos Estados,

Deseosos de mejorar aún más las relaciones de amistad y entendimiento mutuo entre las Partes a partir del desarrollo de la energía nuclear en los usos pacíficos,

Acuerdan lo siguiente:

Artículo 1

Las Partes cooperarán en el desarrollo de la energía nuclear con fines pacíficos en concordancia con las necesidades y prioridades de los respectivos programas nucleares nacionales de los Estados Partes.

La Cooperación se realizará acorde a los postulados de éste Acuerdo y legislaciones de los Estados Partes.

Artículo 2

Las Partes implementarán la cooperación en las siguientes áreas:

Investigación básica y aplicada en el campo de los usos de la energía nuclear con fines pacíficos;

Diseño, construcción, operación, desmantelamiento de centrales nucleares de potencia y reactores nucleares de investigación, incluyendo sistemas de desalinización de agua;

Ciclo de combustible nuclear de centrales nucleares de potencia y reactores nucleares de investigación;

Gestión de residuos radiactivos sin su ingreso al territorio de ninguno de los Estados Partes;

Seguridad nuclear y protección radiológica, respuestas de emergencia;

Regulación de la seguridad nuclear y radiológica, monitoreo de la protección física de instalaciones nucleares, fuentes radiactivas, áreas de almacenamiento, material nuclear y radioactivo;

Producción y aplicación de radioisótopos en la industria, medicina y agricultura;

MRE y C
2532/2014

IF-2018-33043313-APN-DSGAASLYT
página 3 de 15

27 450

Educación y entrenamiento de expertos en los campos de física y energía nuclear;

Otras áreas de cooperación acordadas por las Partes por escrito a través de canales diplomáticos.

Artículo 3

La Cooperación estipulada en el Artículo 2 del Acuerdo será implementada de la siguiente forma:

Conclusión de acuerdos (contratos) que determinen el alcance de la cooperación, los derechos y obligaciones de las partes al Acuerdo (contratos) y términos financieros y otros términos de cooperación en concordancia con las legislaciones de los Estados Parte incluyendo cuestiones de Transferencia de material nuclear, material, equipamiento, componentes y tecnología en una o más áreas descritas en el Artículo 2 de este Acuerdo;

Establecimiento de grupos de trabajo conjunto para la implementación de proyectos específicos e investigación científica;

Intercambio de expertos;

Organización de talleres y simposios científicos;

Asistencia en el entrenamiento de personal científico y técnico;

Intercambio de información científica y técnica;

La cooperación también puede realizarse en otras formas acordadas por las Partes por escrito a través de canales diplomáticos.

Artículo 4

Las Partes facilitarán a la otra la transferencia de material nuclear, material, equipamiento, componentes, y tecnología para implementar programas conjuntos en el uso de la energía nuclear con fines pacíficos. Dicha transferencia será llevada a cabo en concordancia con las legislaciones de los Estados Parte.

MRE y C
2532/2017

IF-2018-33043313-APN-DSGA#SLYT

página 4 de 18

27 450

Artículo 5

Las Partes acuerdan que las palabras usadas en este Acuerdo tendrán el significado según lo definido en el documento del OIEA "Comunicación recibida desde la Misión Permanente de los Estados Unidos de América ante el Organismo Internacional de Energía Atómica relativa a las directrices de algunos Estados Miembros para la exportación de Material Nuclear, Equipamiento y Tecnología" (INFCIRC/254/Rev.11/Parte1), y sus modificaciones posteriores. Cualquier subsiguiente enmienda será válida bajo este Acuerdo sólo si ambas Partes informan a la otra, por escrito, a través de canales diplomáticos, que aceptan dicha enmienda.

Artículo 6

Cada Parte designará autoridades competentes para el propósito de éste Acuerdo:

Por la parte rusa –la Corporación Estatal de Energía Atómica "Rosatom" y el servicio Federal para la Inspección Ecológica, Tecnológica y Atómica (para el área relativa a la regulación de la seguridad nuclear y protección radiológica, la supervisión de la protección física de las instalaciones nucleares, fuentes radiactivas, áreas de almacenamiento, material nuclear y radiactivo),

Por la parte argentina – la Comisión Nacional de Energía Atómica "CNEA" (por el área relativa a la investigación y desarrollo en los campos del ciclo de combustible nuclear, reactores de investigación, minería, gestión de residuos, formación de recursos humanos, desmantelamiento, y como asesor del Gobierno en Política Nuclear), la Autoridad Regulatoria Nuclear "ARN" y Nucleoeléctrica Argentina S.A. "NASA" (por el área relativa al diseño, construcción y operación de centrales nucleares de potencia), en concordancia con sus respectivas competencias.

Las Partes se notificarán mutuamente por escrito, a través de canales diplomáticos, a la brevedad, en el caso de designar otra Autoridad Competente, cambio de nombre o funciones.

Artículo 7

La Cooperación en las áreas descritas en el Artículo 2 de este Acuerdo será implementada por organizaciones autorizadas por las Autoridades Competentes a través de la conclusión de acuerdos (contratos) que determinen el alcance de la cooperación, los derechos y obligaciones de las partes a los acuerdos (contratos), términos financieros y otros términos de cooperación.

MRE y C
2532/2014

IF-2018-33043313-APN-DSGA#SLYT

27 450

Artículo 8

La información clasificada como secreto de estado por la Federación de Rusia y como secreto de estado por la República Argentina, no será transferida bajo este Acuerdo.

La información transferida bajo este Acuerdo, o creada como resultado de la implementación de éste, y considerado por la Parte que la transfiera como confidencial, deberá identificarse claramente como tal.

La parte que transfiera información bajo esto Acuerdo marcará dicha información en el idioma Ruso como «конфиденциально» y en idioma español como "confidencial".

La Parte que reciba información marcada en el idioma ruso como «конфиденциально» y en el idioma español como "confidencial", la protegerá a un nivel equivalente al nivel de protección aplicado por la Parte que transfiere dicha información. Dicha información no podrá ser revelada o transferida a una tercera parte sin el consentimiento por escrito de la Parte que la transfiera.

Las Partes limitarán lo mayor posible el número de individuos con acceso a la información que la Parte que la transfiere considere mantenerla confidencial.

Dicha información será tratada en la Federación de Rusia como información oficial de distribución limitada. Dicha información será protegida de acuerdo a la legislación, reglas y regulaciones de la Federación de Rusia.

MRE y C
2532/2014

Dicha información será tratada en la República Argentina como información confidencial de distribución limitada y será protegida de acuerdo a la legislación, reglas y regulaciones de la República Argentina.

Toda la información transferida bajo este Acuerdo será de uso exclusivo en concordancia con este Acuerdo.

Artículo 9

Las Partes bajo este Acuerdo exportarán materiales nucleares, equipamiento, material especial no nuclear, tecnología relacionada y elementos de uso dual en concordancia con las obligaciones de las Partes, surgidas del Tratado de No Proliferación Nuclear del 1 de julio de 1968, y otros Tratados Internacionales y Acuerdos en el marco de los mecanismos multilaterales de control de las exportaciones de los cuales la Federación de Rusia y (o) la República Argentina sean Partes.

Los materiales nucleares, equipamiento, material especial no nuclear y tecnología relacionada así como material nuclear y especial no nuclear, insta-

IF-2018-33043313-APN-DSGA#SLYT

Página 6 de 18

27 450

laciones y equipamiento a partir de los mismos o como resultado de su uso, transferidos bajo este Acuerdo deberán:

No ser usados para la fabricación de armas nucleares y otros dispositivos explosivos nucleares u otro propósito militar;

Estar bajo salvaguardias del OIEA en concordancia con el Acuerdo entre la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas y el Organismo Internacional de Energía Atómica para la Aplicación de Salvaguardias en la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas del 21 de febrero de 1985 y el Protocolo Adicional entre la Federación de Rusia y el Organismo Internacional de Energía Atómica al Acuerdo entre la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas y el Organismo Internacional de Energía Atómica para la aplicación de salvaguardias en la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas del 22 de marzo de 2000, en el caso de la Federación de Rusia, donde sea aplicable;

Estar bajo salvaguardias del OIEA en concordancia con el Acuerdo entre la República Argentina, la República Federativa del Brasil, la Agencia Brasileño– Argentina de Contabilidad y Control de Materiales Nucleares y el Organismo Internacional de Energía Atómica para la Aplicación de Salvaguardias del 13 de diciembre de 1991, así como el Protocolo a este Acuerdo del 13 de diciembre de 1991, en el caso de la República Argentina;

Ser provistos de medidas de protección física a un nivel no menor de los recomendados por el documento del OIEA "Recomendaciones de Seguridad Nuclear en la Protección Física de los Materiales y las Instalaciones Nucleares" (INFCIRC/225/Rev.5), y sus modificaciones posteriores;

MRE y C
2532/2014

Ser re-exportados o transferidos desde la jurisdicción de los Estados Parte a cualquier otro Estado, solo en las condiciones establecidas en este artículo;

Material nuclear transferido bajo este Acuerdo no deberá ser enriquecido a un 20 por ciento o más del isótopo uranio-235 y no deberá ser químicamente reprocesado sin previo consentimiento por escrito de las Partes, realizado en concordancia con la legislación de los Estados Parte.

El material nuclear de uso dual y su tecnología vinculada, usado con propósitos nucleares, recibido de una de las Partes bajo este Acuerdo, y cualquier copia reproducida, deberá:

Ser usada solo para los propósitos declarados que no estén conectados con actividades de fabricación de dispositivos explosivos nucleares;

No ser usado para llevar a cabo actividad alguna en el campo del ciclo de combustible nuclear que no esté sujeto a las salvaguardias del OIEA bajo los acuerdos de salvaguardias relevantes;

IF-2018-33043513-APN-DSGAASL#1

página 7 de 15

27 450

No ser copiados, modificados, re-exportados o transferidos a una tercera parte sin consentimiento escrito de las autoridades competentes de las Partes transferentes, realizado en concordancia con la legislación de los Estados Parte;

Las Partes acuerdan cooperar en el tema de control de exportaciones de materiales nucleares, equipamiento, material especial no nuclear y tecnología relevante así como elementos de uso dual. El control del uso de materiales nucleares, equipamiento, material especial no nuclear, tecnologías relevantes suministradas así como materiales nucleares y no nucleares, instalaciones y equipamiento producidos de los mismos, o como resultado de su uso, será acordado por las Partes.

Artículo 10

Bajo los términos del presente Acuerdo las Partes acuerdan no transferir instalaciones y tecnologías para reprocesamiento químico de combustible irradiado, enriquecimiento de uranio al 20 por ciento o más, producción de agua pesada, sus componentes mayores o cualquier otro elemento producido como resultado, así como uranio enriquecido al 20 por ciento o más, uranio-235, plutonio y agua pesada.

Artículo 11

MRE y C
2532/04

Las Partes establecerán un Comité de Coordinación Conjunto constituido por representantes designados por las autoridades competentes de las Partes para monitorear la implementación de este Acuerdo.

Las reuniones del Comité de Coordinación Conjunto serán mantenidas como corresponda alternadamente en la Federación de Rusia y la República Argentina según lo acordado por las autoridades competentes de las Partes.

Artículo 12

La responsabilidad por daños nucleares surgidos de la implementación de este Acuerdo será determinada en concordancia con la Convención de Viena sobre Responsabilidad Civil por Daños Nucleares, adoptada el 21 de mayo de 1963.

Artículo 13

Cuestiones vinculadas a la protección, distribución y transferencia de derechos para la propiedad intelectual bajo este Acuerdo, serán determinadas en acuerdos (contratos) concluidos en concordancia con el Artículo 7 de éste

IF-2018-33043313-APN-DGAPSLYT

27 450

Acuerdo. Las Partes asegurarán la protección y distribución efectiva de los derechos de propiedad intelectual transferidos en virtud del presente acuerdo o creados a través de la implementación de estos, en concordancia con las legislaciones de los Estados Parte y los tratados internacionales de los cuales la Federación de Rusia y la República Argentina son parte.

Artículo 14

El presente acuerdo no interferirá con los derechos y obligaciones de cualquiera de las Partes, surgidas de otros tratados internacionales de las cuales sean parte.

Artículo 15

Las Partes resolverán las disputas surgidas de la implementación y (o) interpretación de este Acuerdo por consultas o negociaciones entre autoridades competentes de las Partes, salvo se acuerde mutuamente lo contrario por las Partes.

En caso de cualquier discrepancia entre las disposiciones de este Acuerdo y los acuerdos (contratos) que surjan en el marco de este Acuerdo, las disposiciones de éste Acuerdo prevalecerán.

MRE y C
2532/2014

Artículo 16

El Acuerdo entrará en vigor en la fecha de recepción de la última notificación por escrito por las Partes a través de canales diplomáticos, una vez completados los procedimientos de aprobación interna de los Estados requeridos por su legislación nacional.

El Acuerdo tendrá validez por un período de diez (10) años. El Acuerdo se renovará automáticamente por períodos subsiguientes de dos (2) años, salvo que alguna de las Partes notifique por escrito a la otra, y a través de canales diplomáticos, su intención de terminar el Acuerdo no más allá de los seis (6) meses antes de la expiración del período regular de validez de este Acuerdo.

La terminación del Acuerdo no afectará la implementación de programas o proyectos que hayan sido iniciados durante la validez del Acuerdo pero no completados a la fecha de terminación de éste Acuerdo, salvo que las Partes acuerden lo contrario. En caso de terminación del Acuerdo, las obligaciones de las Partes estipuladas en los Artículos 8 a 10 y 13 del Acuerdo serán válidas, salvo que las Partes acuerden lo contrario.

Enmiendas al Acuerdo serán introducidas a partir del consentimiento escrito de las Partes.

IF-2018-33043313-APN-DSGJAASLYT

página 9 de 18

27 450

Hecho en Buenos Aires, el 12 de julio de 2014, en duplicado en los idiomas español, ruso e inglés, cada uno igualmente auténtico. Cualquier disputa relativa a la interpretación que surja de este Acuerdo, prevalecerá el texto en inglés.

POR EL GOBIERNO DE LA REPÚBLICA ARGENTINA

POR EL GOBIERNO DE LA FEDERACIÓN DE RUSIA

MRE y C
2532/2014

IF-2018-33043313-APN-DSGA#SLYT

página 10 de 18

27 450

AGREEMENT

BETWEEN

THE GOVERNMENT OF THE ARGENTINE REPUBLIC

AND

THE GOVERNMENT OF THE RUSSIAN FEDERATION

FOR COOPERATION IN THE USE OF NUCLEAR ENERGY FOR PEACEFUL PURPOSES

The Government of the Argentine Republic and the Government of the Russian Federation hereinafter referred to as the "Parties",

based on friendly relations existing between both states,

recognizing that both states are the Member-States of the International Atomic Energy Agency (IAEA) and the parties to the Treaty on Non-Proliferation of Nuclear Weapons, done on July 1, 1968, the Vienna Convention on Civil Liability for Nuclear Damage, done on May 21, 1963, the Convention on the Physical Protection of Nuclear Material, done on October 26, 1979, the Convention on Early Notification of a Nuclear Accident, done on September 26, 1986, the Convention on Nuclear Safety, done on June 17, 1994, the Convention on Assistance in case of a Nuclear Accident or Radiological Emergency, done on September 26, 1986, and the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and the Safety of Radioactive Waste Management, done on September 5, 1997,

taking into account the Agreement between the Union of Soviet Socialist Republics and the International Atomic Energy Agency on the Application of Safeguards in the Union of Soviet Socialist Republics, done on February 21, 1985, as well as the Additional Protocol between the Russian Federation and the International Atomic Energy Agency to the Agreement between the Union of Soviet Socialist Republics and the International Atomic Energy Agency on the Application of Safeguards in the Union of Soviet Socialist Republics, done on March 22, 2000,

taking into account the Agreement between the Argentine Republic, the Federative Republic of Brazil, the Brazilian-Argentine Agency for Accounting and Control of Nuclear Materials and the International Atomic Energy Agency for the Application of Safeguards, done on December 13, 1991, as well as the Protocol to this Agreement, done on December 13, 1991,

MRE y C
2532/2014

IF-2018-33045313-APN-DSCA#SLYT

página 11 de 19

27 450

acknowledging that the use of nuclear energy for peaceful purposes and assurance of nuclear and radiation safety are important factors in ensuring the social and economic development of both states,

desiring to further enhance the friendly relationship and mutual understanding between both states by developing nuclear energy for peaceful uses,

have agreed as follows:

Article 1

The Parties shall cooperate in the development of nuclear energy for peaceful purposes in accordance with the needs and priorities of the respective national nuclear programs of the Parties' states.

Cooperation shall be in accordance with the provisions of this Agreement and legislations of the Parties' states.

Article 2

The Parties may implement cooperation in the following areas:

basic and applied research in the field of the use of nuclear energy for peaceful purposes;

design, construction, operation and decommissioning of nuclear power plants and nuclear research reactors including water desalination systems;

nuclear fuel cycle for nuclear power plants and nuclear research reactors;

management of radioactive waste without its entering to the territory of any of the Parties' states;

nuclear and radiation safety, emergency response;

nuclear and radiation safety regulation, monitoring of physical protection of nuclear facilities, radiation sources, storage areas, nuclear and radioactive material;

production and application of radioisotopes in industry, medicine and agriculture;

education and training of experts in the field of nuclear physics and nuclear energy;

MRE y C
2532/2019

IF-2018-53044313-APN-DSGA#SECYT

página 13 de 18

27 450

other areas of cooperation that may be agreed upon by the Parties in writing through diplomatic channels.

Article 3

Cooperation stipulated in Article 2 of this Agreement is implemented in the following ways:

concluding agreements (contracts) that determine the scope of cooperation, the rights and obligations of parties to the agreements (contracts), and financial and other terms of cooperation in accordance with the legislations of the Parties' states including issues of the transfer of nuclear material, material, equipment, components, and technology in one or more of the areas stipulated in Article 2 of this Agreement;

establishment of joint working groups for the implementation of specific projects and scientific research;

exchange of experts;

organization of scientific workshops and symposia;

assistance in the training of scientific and technical personnel;

exchange of scientific and technical information.

Cooperation also may be implemented in other forms that may be agreed upon by the Parties in writing through diplomatic channels.

MRE y C
2552/2014

Article 4

The Parties shall facilitate for each other the transfer of nuclear material, material, equipment, components and technology to implement joint programs in the use of nuclear energy for peaceful purposes. Such transfer is carried out in accordance with the legislations of the Parties' states.

Article 5

The Parties agree that words used in this Agreement shall have the meaning as defined in the IAEA document "Communication Received from the Permanent Mission of the United States of America to the International Atomic Energy Agency regarding Certain Member States' Guidelines for the Export of Nuclear Material, Equipment and Technology" (INFCIRC/254/Rev.11/Part 1) as amended from time to time. Any subsequent amendment shall be valid under

IF-2018-13843311-APN-DSCIAASLYT

página 13 de 18

27 450

this Agreement only if the two Parties inform each other in writing through diplomatic channels that they accept such amendment.

Article 6

Each Party shall designate competent authorities for the purpose of this Agreement:

for the Russian Party - the State Atomic Energy Corporation "Rosatom" and the Federal Service for Ecological, Technological and Atomic Inspectorate (for the area concerning nuclear and radiation safety regulation, oversight of physical protection of nuclear facilities, radiation sources, storage areas, nuclear and radioactive material),

for the Argentine Party - The National Atomic Energy Commission "CNEA" (for the area concerning research and development on the fields of nuclear fuel cycle, research reactors, mining, waste management, human resources training, decommissioning and as advisor of the Government on the Nuclear Policy), the Nuclear Regulatory Authority "ARN" and Nucleoeléctrica Argentina S.A. - "NASA" (for the area concerning design, construction and operation of nuclear power plants), in accordance with their respective competences.

The Parties shall promptly notify each other in writing through diplomatic channels in case they designate another Competent Authority, change its name or functions.

MRE y C
2532/bm

Article 7

Cooperation in the areas stipulated in the Article 2 of this Agreement shall be implemented by organizations authorized by the Competent Authorities through concluding agreements (contracts) that determine the scope of cooperation, the rights and obligations of parties to the agreements (contracts), and financial and other terms of cooperation.

Article 8

Information classified as a state secret by the Russian Federation and as a state secret by the Argentine Republic shall not be transferred under this Agreement.

Information transferred under this Agreement or created from the implementation thereof and regarded by the transferring Party as confidential shall be clearly identified as such.

The Party transferring the information under this Agreement shall mark such information in the Russian language as «конфиденциально» and in the Spanish language as "confidencial".

The Party receiving information marked in the Russian language as «конфиденциально» and in the Spanish language as "confidencial" shall

IF-2018-33[illegible]-APN-DSGA#SLYT

27 450

protect it at a level equivalent to the level of protection applied by the transferring Party to such information. Such information shall not be disclosed or transferred to a third party without the written consent of the transferring Party.

The Parties shall limit as much as possible number of individuals having access to information which the transferring Party regards as due to be kept confidential.

Such information shall be treated in the Russian Federation as official information of limited distribution. Such information shall be protected in accordance with the legislation, rules and regulations of the Russian Federation.

Such information shall be treated in the Argentine Republic as confidential information of limited distribution and shall be protected in accordance with the legislation, rules and regulations of the Argentine Republic.

All information transferred under this Agreement shall be used exclusively in accordance with this Agreement.

Article 9

The Parties under this Agreement shall export nuclear materials, equipment, special non-nuclear material, respective technology and items of dual purpose in accordance with the obligations of the Parties' states arising from Nuclear Non-Proliferation Treaty, done on July 1, 1968 and other International Treaties and Agreements within the framework of the multilateral mechanisms of export control to which the Russian Federation and (or) the Argentine Republic are Parties.

The nuclear materials, equipment, special non-nuclear material and related technology as well as nuclear and special non-nuclear material, facilities and equipment produced thereof or as a result of their use, transferred under this Agreement shall:

not be used for the manufacturing of nuclear weapons and other nuclear explosive devices or any other military purpose;

be under the IAEA safeguards in accordance with the Agreement between the Union of Soviet Socialist Republics and the International Atomic Energy Agency for the Application of Safeguards in the Union of Soviet Socialist Republics, done on 21 February 1985 and the Additional Protocol between the Russian Federation and the International Atomic Energy Agency to the Agreement between the Union of Soviet Socialist Republics and the International Atomic Energy Agency on the Application of Safeguards in the Union of Soviet Socialist Republics, done on March 22, 2000, in the case of the Russian Federation where it is applicable;

be under the IAEA safeguards in accordance with the Agreement between the Argentine Republic, the Federative Republic of Brazil, the Brazilian-Argentine Agency for Accounting and Control of Nuclear Materials and

MRE y C
2532/2014

IF-2018-33043-DI-APN-DSGAMSLYT

página 15 de 18

27 450

the International Atomic Energy Agency for the Application of Safeguards, done on December 13, 1991, as well as the Protocol to this Agreement, done on December 13, 1991, in the case of the Argentine Republic;

be provided with physical protection measures at a level not lower than the levels recommended by the IAEA document «Nuclear Security Recommendations on Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities» (INFCIRC/225/Rev.5), as amended from time to time;

be re-exported or transferred from the jurisdiction of the Parties' states to any other state only on the conditions, stated in this Article;

nuclear material transferred under this Agreement shall not be enriched to 20 percent or more in isotope of uranium-235 and shall not be chemically reprocessed without prior written consent of the Parties, made in accordance with the legislation of the Parties' states.

Material of dual purpose and related technology used for nuclear purposes, received from one of the Parties' states under the Agreement and any reproduced copies thereof shall:

be used only for declared purposes that are not connected with activities of manufacturing nuclear explosive devices;

MRE y C
25/12/2014

not be used to carry out any activities in the field of nuclear fuel cycle that are not subject to the IAEA safeguards under the relevant safeguards agreements;

not be copied, modified, re-exported or transferred to a third party without written consent of the Competent Authorities of the transferring Parties, made in accordance with the legislations of the Parties' States.

The Parties agree to cooperate on the issue of export control of nuclear materials, equipment, special non-nuclear material and relevant technology as well as items of dual purpose. Control of the use of supplied nuclear materials, equipment, special non-nuclear material and relevant technologies as well as nuclear and non-nuclear materials, facilities and equipment produced thereof or as a result of their use shall be as agreed upon by the Parties.

Article 10

Under the terms of this Agreement the Parties agree not to transfer facilities and technologies for chemical reprocessing of irradiated fuel, uranium enrichment to 20 percent or more, heavy water production, their major components or any items produced thereof, as well as uranium enriched to 20 percent or more, uranium-235, plutonium and heavy water.

IF-2018-33043313-APN-DSGAPSCYT

Página 16 de 16

27 450

Article 11

The Parties shall establish a Joint Coordination Committee that consists of the representatives designated by the competent authorities of the Parties to monitor the implementation of this Agreement.

The meetings of the Joint Coordination Committee shall be held as appropriate alternately in the Russian Federation and the Argentine Republic as agreed by the competent authorities of the Parties.

Article 12

Liability for nuclear damage arising from the implementation of this Agreement shall be determined in accordance with the Vienna Convention on Civil Liability for Nuclear Damage, done on May 21, 1963.

Article 13

Issues of protection, distribution and transfer of rights for intellectual property under this Agreement shall be determined in agreements (contracts) concluded in accordance with Article 7 of this Agreement. The Parties shall assure effective protection and distribution of the rights to intellectual property transferred under this Agreement or created through the implementation thereof in accordance with the legislations of the Parties' States and international treaties the Russian Federation and the Argentine Republic are the parties to.

MRE y C
2532/2014

Article 14

The present Agreement shall not interfere with the rights and obligations of either Party arising from other international treaties it is the party to.

Article 15

The Parties shall settle all disputes arising from the implementation and (or) interpretation of this Agreement by consultations or negotiations between competent authorities of the Parties unless otherwise mutually agreed upon by the Parties.

Should any discrepancy between the provisions of this Agreement and the agreements (contracts) in the frame of this Agreement arise, provisions of this Agreement shall prevail.

IF-2014-3304313-APN-DSCLAPSLYT

página 17 de 18

27 450

Article 16

The Agreement shall enter into force on the date of the receipt of the last written notification by the Parties through diplomatic channels on the completion of internal state procedures required by their national legislation.

The Agreement shall be valid for a period of ten (10) years. The Agreement shall be automatically renewed for the subsequents two-year periods unless either Party notifies the other Party in writing and through diplomatic channels of its intention to terminate the Agreement not later than six (6) months before the expiration of a regular period of validity of the Agreement.

The termination of the Agreement shall not affect the implementation of programs or projects that have been initiated during the validity of the Agreement but not completed by the date of the termination of the Agreement unless the Parties agree otherwise. In case of termination of the Agreement the obligations of the Parties stipulated by Articles 8 to 10 and 13 of the Agreement shall be valid unless the Parties agree otherwise.

Amendments to the Agreement may be introduced upon written consent of the Parties.

Done in Buenos Aires on the 12 of July 2014, in duplicate in the Spanish, Russian and English languages, each being equally authentic. Should any dispute concerning the interpretation of the Agreement arise, the English text shall prevail.

MRE y C
2532/2016

FOR THE GOVERNMENT OF THE ARGENTINE REPUBLIC	FOR THE GOVERNMENT OF THE RUSSIAN FEDERATION

IF-2018-33043313-APN-DSGAJSLYT

página 18 de 18