



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA
Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales

Tesis de Maestría en Inteligencia Estratégica Nacional

**PERSPECTIVA DE LA
ENERGÍA NUCLEAR EN LA
FUTURA MATRIZ
ENERGÉTICA**

**La inteligencia estratégica como factor clave para
la reformulación de las fuentes productoras de
energía a nivel nacional**

TESISTA: Prof. Gerardo IZZO

DIRECTORA DE TESIS: Prof. Silvia CUCOVAZ

2016

INDICE

INTRODUCCIÓN	3
EL PROBLEMA A INVESTIGAR	5
MARCO METODOLÓGICO	7
1 LA ENERGÍA EN LA HISTORIA.....	10
1.1 EVOLUCIÓN DE LA UTILIZACIÓN DE LA ENERGÍA DESDE LA PREHISTORIA A LA ERA PREINDUSTRIAL.....	10
1.2 CAMBIO DE PARADIGMA EN EL USO DE LA ENERGÍA A PARTIR DE LA INDUSTRIALIZACIÓN.....	15
1.3 PROFUNDIZACIÓN DE LOS CAMBIOS Y ADVENIMIENTO DE NUEVAS TECNOLOGÍAS EN EL SIGLO XX	18
2 BREVE HISTORIA DEL DESARROLLO DE LA INDUSTRIA NUCLEAR.....	29
2.1 HISTORIA DE LA TEORÍA ATÓMICA	29
2.2 DESCUBRIMIENTO DE LA FISIÓN DE URANIO.	31
2.3 FUNCIÓN BÉLICA Y FUNCIÓN PACÍFICA DE LA INDUSTRIA.....	32
2.4 LA INDUSTRIA DE POSGUERRA.	36
3 ENERGÍA NUCLEAR Y DESARROLLO	38
3.1 CRECIMIENTO DE LA ENERGÍA NUCLEAR Y SU APOORTE AL DESARROLLO.	38
4 DESCRIPCIÓN DE LAS FUENTES DE ENERGÍA (COSTO DE EJECUCIÓN, MANTENIMIENTO, I+D, ECOLÓGICO Y BENEFICIOS)	47
4.1 CARBÓN	48
4.2 PETRÓLEO.....	57
4.3 GAS.....	69
4.4 ENERGÍA HIDROELÉCTRICA	76
4.5 ENERGÍA EÓLICA	87
4.6 ENERGÍA SOLAR	93
4.7 OTRAS ENERGÍAS RENOVABLES.....	99
4.7.1 <i>Energía oceánica</i>	99
4.7.2 <i>Energía geotérmica</i>	101
4.8 ENERGÍA NUCLEAR	105
5 ESTUDIO COMPARADO DE CASOS	120
5.1 CASO ESTADOS UNIDOS	120
5.2 CASO RUSIA	125
5.3 CASO ALEMANIA.....	131
5.4 CASO CHINA	135
5.5 CASO BRASIL	137
5.6 CASO ARGENTINA	141
5.6.1 <i>Historia del desarrollo nuclear en el país e I+D nacional</i>	141
5.6.2 <i>Análisis de la matriz energética argentina</i>	145
5.6.3 <i>La energía nuclear en el sistema interconectado nacional</i>	152
5.6.4 <i>Proyección estratégica de la energía nuclear</i>	152
5.7 COMPARACIÓN DE LAS MATRICES	154
6 ANÁLISIS ESTRATÉGICO DE LA ENERGÍA NUCLEAR A FUTURO.....	156
6.1 INTELIGENCIA ESTRATÉGICA Y ENERGÍA.....	156
6.2 ANÁLISIS DE LAS FUENTES DE ENERGÍA	159
6.2.1 <i>FODA</i>	160
6.3 ANÁLISIS DE INTELIGENCIA ESTRATÉGICA APLICADO A NUESTRO PAÍS.....	173
6.3.1 <i>Escenarios</i>	177
6.4 DESAFÍOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR POST FUKUSHIMA Y MATRIZ ENERGÉTICA 2030.....	189
7 CONCLUSIONES.....	194
8 BIBLIOGRAFIA	208

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Evolución de la fuerza motriz en la Historia	23
Tabla 2 - Crecimiento de la Energía nucleoelectrica: 1959-1969	42
Tabla 3 - Crecimiento de la energía nucleoelectrica 1970-1979	44
Tabla 4 - Comparativo matriz energética mundial 1973 y 2012, según fuentes.	47
Tabla 5 - Predicciones sobre el pico de producción mundial de petróleo	59
Tabla 6 - Ranking mundial del uso de GNC para el transporte	73
Tabla 7 - Países con mayor porcentaje de generación hidroeléctrica	79
Tabla 8 - Estimaciones de Costos de Capital: Advanced Boiling Water Reactor (ABWR), Diseño Maduro, en millones de dólares de 2001	107
Tabla 9 - Comparación de Estadísticas de accidentes en la producción de energías primarias	114
Tabla 10 - Análisis FODA de fuentes de generación de energía	160

INDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1 - Uso del Combustible en la Historia	25
Gráfico 2 - Evolución del Consumo de energía per Cápita	26
Gráfico 3 - Consumo Mundial Energía Primaria 2014	27
Gráfico 4 - Evolución valor del Petróleo 1915-2015	43
Gráfico 5 - Evolución del precio del carbón 1987-2014	49
Gráfico 6 - Emisiones de Dióxido de Carbono vs. Eficiencia	53
Gráfico 7 - Evolución del precio (en U\$S) del barril Brent 2005 - 2015	63
Gráfico 8 - Uso del Petróleo 2012	64
Gráfico 9 - Precio del gas natural por región 2002 - 2014	70
Gráfico 10 - Represas por propósito	77
Gráfico 11 - Capacidad Instalada eólica a nivel global 1994-2014	88
Gráfico 12 - Producción mundial de energía solar	94
Gráfico 13 - Mapamundi potencial energía oceánica (olas) en KW por metro	101
Gráfico 14 - Mapamundi de áreas de potencial geotérmico	103
Gráfico 15 - Evolución del valor de Dióxido de uranio 2005-2015	109
Gráfico 16 - Costo de generación de electricidad con tratado de emisiones	109
Gráfico 17 - Costo normalizado comparativo	111
Gráfico 18 - Evolución comparativa del valor del uranio y el petróleo comparativo	112
Gráfico 19 - Variación del PBI chino 1961-2014 (% anual)	135
Gráfico 20 - Recursos de Shale Gas Técnicamente Recuperables-2013	145
Gráfico 21 - Recursos de Shale Petróleo Técnicamente Recuperables-2013	146
Gráfico 22 - Consumo energético argentino según las fuentes 1965-2014	151
Gráfico 23 - Matrices energéticas de casos testigos comparadas	155
Gráfico 24 - Comparación variación interanual PBI y consumo energético	174
Gráfico 25 - Relación entre PBI y Consumo de energía	175
Gráfico 26 - Evolución de la Matriz Energética 1970-2014	177
Gráfico 27 - Porcentaje de generación según cada una de las fuentes en la Matriz Eléctrica Argentina 1994-2014	185
Gráfico 28 - Qué dos de los siguientes opciones se debe dar prioridad en la política energética del Gobierno? (Máx. 2 RESPUESTAS) -%	192

Introducción

El desarrollo de la vida moderna depende casi exclusivamente de las fuentes de energía, sin ellas se torna casi imposible el normal acontecer como también el progreso. Durante el año 2014 el consumo de energía primaria a nivel mundial (incluyendo todas las fuentes) fue de 12928,4 millones de toneladas equivalente de petróleo¹. En el mismo período la generación de electricidad fue de 23536,51 TeraWatts/hora (TW/h)² de electricidad, el 45,5% de esa energía fue consumido por los 34 estados que conforman la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD por sus siglas en inglés).

Los antemencionados números indican que el desarrollo humano requiere de una enorme cantidad de recursos para sostenerse y desarrollarse, convirtiendo así a las fuentes de energía en un elemento de carácter estratégico sobre el cual es necesario tener un control o por lo menos asegurarse el abastecimiento.

Las reservas finitas del petróleo como las del gas, las dos fuentes más utilizadas, se presentan como el gran limitante de su utilización a futuro. Los escenarios a largo plazo de dichas fuentes son inevitablemente conflictivos. No sólo los recursos limitados abren el debate sobre los hidrocarburos, la inestabilidad de los precios y el impacto ambiental sitúan a estas fuentes, especialmente el petróleo, en el centro de los cuestionamientos.

Las graves crisis del petróleo del siglo XX, dieron por resultado que muchos estados (en especial los estados desarrollados) comenzaran a buscar nuevas alternativas a la matriz energética, tratando que la dependencia a los hidrocarburos no sea exclusiva.

Comparativamente desde los '70 hasta la actualidad el petróleo ha disminuido su participación en la matriz global y han incrementado su participación fuentes como la hidroeléctrica y nuclear. El gas tomó un rol preponderante y el carbón resurgió. Cabe destacar que en las últimas décadas las energías renovables como la solar y eólica han vivido un crecimiento exponencial aunque comparativamente todavía no poseen un rol preponderante.

¹ BRITISH PETROLEUM “BP Statistical Review of World Energy” Junio 2015, Londres, pág. 40.

² BRITISH PETROLEUM “BP Statistical Review of World Energy” Junio 2015” en <http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2015/bp-statistical-review-of-world-energy-2015-full-report.pdf>

El cambio ocurrido si bien fue significativo para fuentes que no ocupaban un lugar en la matriz, no representó una disminución de la participación de las fuentes fósiles las cuales aún dominan la matriz energética global y de la mayoría de los países.

A causa de sus altas prestaciones y casi nulas emisiones, la energía nuclear obtuvo su lugar, en especial en los países desarrollados, permitiendo un crecimiento de forma sostenida y convirtiéndose en una opción para suplantar a la generación eléctrica por fuentes fósiles. Los accidentes ocurridos en las últimas décadas tornaron a la otrora energía segura en una opción discutida por la opinión pública aunque entendida de diferente forma por los estados que la utilizan.

La mala fama adquirida por la energía nuclear, junto con los avances en la tecnología de las renovables posicionaron a estas últimas como una de las grandes alternativas. En la actual década las energías renovables viven un proceso de crecimiento acompañado por una aceptación a nivel global.

Todas estas variedades de fuentes energéticas presentan pros y contras, ninguna de ellas es perfecta. La gran cantidad de variables que se deben analizar para la implementación de una matriz energética diversificada requiere de una planificación minuciosa donde varias aristas del estado intervengan como así también sectores no estatales.

A fin de planificar un escenario futuro más conveniente para el país, el estado necesita de la intervención de la inteligencia estratégica para poder conjugar las distintas variables que tienen injerencia en la conformación de la matriz energética para que ésta sea más beneficiosa. Esta planificación trasciende el ámbito meramente energético y anticipa los posibles impactos de los escenarios futuros, siendo una herramienta esencial para el decisor.

Hasta el momento no se ha logrado consenso respecto de la matriz energética debido a:

- Un panorama desfavorable a futuro de las fuentes de energía fósil
- La desconfianza que genera la producción de energía nuclear luego del incidente de Fukushima
- Las escasas respuestas obtenidas de otras fuentes de energía alternativa (eólica, solar, etc.)

Por ello, es necesario plantear el desafío que debe afrontar Argentina de planificar a largo plazo la renovación de su matriz energética, a partir de la utilización de la inteligencia estratégica como instrumento para visualizar a los futuros sucesos y

escenarios que pueden reposicionar al país en dicha materia otorgándole la necesaria independencia energética.

El Problema a Investigar

Hipótesis

En la actualidad, la matriz de producción de energía tal como está planteada no puede sostenerse en el tiempo. La extrema dependencia sobre las fuentes de energía no renovables exige replantearla a fin de evitar el caos a nivel global que provocaría el alza del gas y el petróleo debido a su escasez.

De las nuevas fuentes de energía que han surgido en los últimos 50 años la energía nuclear se posicionó como el mejor reemplazante, sin embargo una sucesión de accidentes graves colocó a esta fuente en discusión. A nivel global el posicionamiento de los Estados sobre la energía nuclear es muy disímil, y por otro lado ninguna de las fuentes renovables modernas alcanza a cubrir una cuota medianamente significativa en el mercado de producción de energía.

Repensar los modelos energéticos en un marco de puja de intereses de las grandes corporaciones energéticas dificulta cualquier accionar y toma de decisiones. La inteligencia estratégica debe ir más allá de las cuestiones comerciales para vislumbrar las realmente indispensables.

Argentina sufre los mismos problemas que el resto del mundo sobre la dependencia de combustibles no renovables y una urgida necesidad de cambiar el paradigma de fuentes de producción de energía.

A través de esta investigación se intentarán resolver los siguientes interrogantes:

1. Frente a este panorama, ¿es la energía nuclear, con los avances logrados y a pesar de ciertos peligros, la fuente de energía del futuro para reemplazar a las fuentes fósiles?
2. ¿Acaso los pronósticos de producción de gas/petróleo son errados y todavía quedan grandes yacimientos por ser explotados que permiten extender la matriz actual varias décadas más?

3. ¿Pueden acaso las nuevas fuentes de energía renovable dar un salto cualitativo para posicionarse como el reemplazo ideal y necesario?
4. Argentina se presenta en los últimos años con tecnologías nucleares modulares nuevas, ¿es acaso la energía nuclear ideal para cambiar la matriz energética local? O los yacimientos terrestres y especialmente los marítimos que se creen existentes mantendrán o aún aumentarán el uso de combustible fósil para generación de energía
5. ¿El costo de producción justificará la inversión necesaria para efectuar exploración y explotación en el área marítima?
6. ¿Qué elementos puede proveer la inteligencia estratégica a fin de comenzar a replantear la matriz energética a nivel internacional y especialmente nacional?

Se partirá de las siguientes hipótesis:

H1: La generación de energía por medio de fuentes nucleares es potencialmente ideal para reemplazar a las fuentes fósiles en el futuro a medida que estos últimos comiencen a agotarse y requieran un reemplazo.

H2: Nuestro país debe modificar la matriz energética actual hacia una con preeminencia de energía nuclear como principal fuente generadora, pudiendo utilizarse secundariamente otras fuentes renovables, que nuestra geografía ofrece.

Marco metodológico

El desarrollo metodológico de la tesis se puede desmembrar en varias partes diferentes. La primer parte es de carácter histórico-descriptivo siendo el eje central de la misma la evolución temporal del uso de la energía en general y de la energía nuclear en particular, abarcando los descubrimientos y usos realizados por las diversas sociedades a través del tiempo.

Para la realización de este primer capítulo se utilizaron mayormente textos referentes al uso específico de la energía en tiempos pasados como así también se trabajaron fuentes de la época, bibliografía referente al estudio de períodos históricos y en menor medida textos de carácter técnico. La conjunción de este uso diverso de bibliografía permitió la realización de un análisis histórico-evolutivo de la energía a partir de las variables sociales, políticas, económicas y científicas que se sucedieron a lo largo del tiempo, las cuales brindaron un marco favorable para los diversos cambios.

El segundo y el tercer capítulo se centraron en la evolución específica de la energía nuclear manteniendo el mismo estilo de investigación, manejo bibliográfico y escritura, conservando el eje temporal-evolutivo y análisis de variables que determinaron los cambios de tecnologías energéticas hasta nuestros días.

La segunda parte de la tesis, los capítulos cuatro y cinco, poseen un carácter descriptivo. En el cuarto capítulo el eje temporal no reviste importancia mientras que la descripción profunda de cada una de las tecnologías es analizada bajo las mismas variables facilitando a posteriori el análisis comparativo.

La investigación de las diferentes fuentes de energía reviste la particularidad de poseer gran cantidad de bibliografía contrapuesta en las que se acentúan las virtudes o los defectos de las diferentes formas de generación. Las diversas fuentes de energía han establecido comercialmente fuertes lobbies que pugnan por posicionarse de la mejor manera a las fuentes que representan.

Con intereses creados o con real convencimiento no pocos escritos académicos tienden a ser parcializados lo que genera en la labor de investigación la aplicación constante del método analítico crítico donde se contrastan las fuentes bibliográficas, las de carácter contradictorio como las similares, a fin de poder llegar al dato más preciso y objetivo. Naturalmente todos los escritos están compuestos por elementos objetivos y subjetivos, es tarea del investigador reducir los elementos subjetivos y utilizar los objetivos. Esto no significa que los escritos demasiado subjetivos hayan sido

descartados, los mismos son utilizados aunque con la correspondiente aclaración de la postura que representa

La problemática con respecto a las fuentes suele recaer en las que trascienden al público en general. No son pocas las ocasiones en la que toman estado público informaciones erróneas sobre las diversas fuentes de energía lo que tiende a mal informar a la sociedad y generar opiniones basadas en datos incorrectos.

El capítulo cuarto posee una simbiosis entre los textos más subjetivos y la bibliografía más técnica con datos comúnmente llamados “duros” (muchos de los cuales se utilizan para tomar posturas extremas). La información descriptiva brinda los elementos necesarios para poder ser analizados en capítulos posteriores. Todas las energías son descriptas de acuerdo a ciertos parámetros uniformes de modo que la información brindada pueda ser fácilmente analizada y comparada posteriormente. Además de los parámetros base cada tecnología posee particularidades las cuales son incluidas dentro del capítulo a fin de brindar una idea lo más completa posible.

Si bien el capítulo quinto es también descriptivo, el eje metodológico específico se centra en el análisis de casos (matriz energética de diferentes países). Los mismos fueron seleccionados de acuerdo a dicha matriz así como por las diferentes posturas, desarrollos y utilización que poseen con respecto a la energía nuclear. Esta metodología permite ver el pasado, presente y futuro de cada uno de los países analizados con respecto a la energía nuclear y a su matriz energética. La ubicación de este capítulo no es de carácter aleatorio, para desarrollar los casos eran necesarios poseer los conocimientos de la evolución tecnológica como así también las características de las distintas fuentes de energía que conforman la matriz energética de los países estudiados. Si bien los casos son analizados por separado la utilización de un gráfico comparativo final da una muestra acabada de las diferentes matrices.

El último capítulo mantiene un eje estrictamente analítico, en el cual los contenidos descriptivos de los capítulos anteriores son indagados y comparados a fin de poder brindar una respuesta a las hipótesis planteadas. Dentro de la metodología implementada se utilizaron análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) como así también análisis de escenarios. Ambas metodología le otorgan al capítulo la visión analítica de carácter estratégico sobre las fuentes de energía a nivel global, con especial hincapié en la energía nuclear. A nivel análisis de casos, el centro del estudio radica en Argentina y sus posibles escenarios energéticos.

En base a lo antedicho se vislumbra el enfoque sistémico con el que se realizó la tesis comenzando por la presentación de datos históricos, describiendo luego las tecnologías energéticas y el análisis de casos para luego tomar todos los elementos previamente descriptos y generar un análisis estratégico que se realiza a partir del método deductivo, es decir, de lo general a lo particular (escenario global y el escenario nacional).

A lo largo de toda la investigación se han utilizado gráficos y tablas a fin de facilitar la presentación, comparación y estructuración de diferente tipos de datos. Los gráficos son realizados por el autor como así también tomados de diversas fuentes, las cuales son citadas. En el caso de las presentaciones gráficas en distintos idiomas han sido traducidas a fin de facilitar su lectura. Del mismo modo el uso estadístico revistió gran importancia, en los capítulos donde se realiza la descripción de las nuevas tecnologías y el estudio de casos. En correlación a lo antedicho se utilizó análisis estadístico descriptivo, los cuales se evidencian mayormente en los diferentes cuadros y gráficos previamente mencionados.

Sumado a las varias metodologías aplicadas, se realizaron estudios de tipo causa-efecto gracias a que este tipo de análisis rige la toma de decisiones de los varios países por lo que generan muchas de las políticas públicas energéticas. Todas las energías poseen pros y contras por lo que la elaboración de políticas energéticas nacionales imponen la utilización esta metodología a fin de hacer primar ciertos beneficios y evitar perjuicios dentro de una enorme cantidad de variables.

Tanto las tecnologías de generación energética como las matrices energéticas de los casos seleccionados fueron sometidas a análisis comparativos.

Finalmente, luego de la elaboración en la que se analizan las variables relativas a la matriz energética, en la conclusión final se da respuesta a los cuestionamientos realizados en la hipótesis en base a los análisis e investigaciones brindadas en los capítulos previos.

1 La Energía en la Historia

"El desarrollo del hombre depende fundamentalmente de la invención. Es el producto más importante de su cerebro creativo. Su objetivo final es el dominio completo de la mente sobre el mundo material y el aprovechamiento de las fuerzas de la naturaleza a favor de las necesidades humanas"

Nikola Tesla

1.1 ***Evolución de la utilización de la energía desde la prehistoria a la era preindustrial.***

Desde el comienzo de la organización humana en sociedad el hombre ha intentado servirse del medio que lo rodea para transformar su hábitat.

En los períodos prehistóricos la transformación del entorno se realizaba por medio de la fuerza humana. El hombre prehistórico realizaba cualquier tarea de forma manual o por la utilización de rudimentarios instrumentos. Es por ello que la primera fuente de energía utilizada para la transformación del medio fue la comida ingerida por los humanos *“la única transformación de materia en orden a generar movimiento y calor era el metabolismo de material orgánico cualquiera de los dos era producido espontáneamente por plantas y vegetación o la carne de los animales consumida por los humanos como comida”*³

Hacia el paleolítico inferior, diferentes civilizaciones lograron controlar el fuego diferenciándose así el hombre por sobre cualquier animal. El dominio del fuego le permitió al hombre realizar grandes avances (calor, luz, protección de los depredadores y a posteriori realizar los primeros trabajos industriales) *“Cada vez se descubren más yacimientos en el interior de las cuevas, que, muy probablemente, pasaron a ocupar los hombres una vez que el dominio del fuego les permitió expulsar de ellas a las fieras. Los primeros indicios de fuego parecen remontarse al Mindeliense, pero a partir del Rissense es cuando empiezan a multiplicarse las huellas de fuego en cuevas y estaciones al aire libre”*⁴ Sin embargo, la fuente del fuego seguía siendo orgánica, en este caso de origen vegetal.

³ MALANIMA, Paolo “Energy in History” 2010, pág. 6. En http://www.paolomalanima.it/default_file/Articles/ENERGY%20IN%20HISTORY.pdf (Traducción del autor)

⁴ ALIMEN, Marie-Henriette, STEVE, Marie Joseph “Prehistoria” Siglo XXI Ediciones, México, 1986, pág. 40 y ss.

El avance de las sociedades estuvo íntimamente relacionado a la capacidad de modificar el entorno a su favor de la forma más eficiente. Los medios utilizados, hombre, animal y fuego, por separados o combinados otorgaron a las tempranas sociedades la posibilidad de diferenciarse del resto de las organizaciones humanas. Sin embargo, a criterio del sociólogo Joahn Goudsblom fue el fuego la clave para la evolución de la civilización *“El aprendizaje del control del fuego fue y es una forma de civilización. Los humanos han domesticado el fuego y lo han incorporado a sus sociedades; estas sociedades se volvieron más complejas y más civilizadas”*⁵

Progresos tales como la utilización de metales o la sedentarización requirieron de las capacidades transformadoras ante mencionadas como necesarias para su realización *“El control del fuego era un prerrequisito para la domesticación de animales y plantas”*⁶ El uso del fuego para la quema de tierras a fin de facilitar las labores de sembrado o caza se extendió en distintas partes del mundo hacia el 10.000 a.C.

La utilización del fuego como herramienta poseía limitaciones, por este motivo irremediamente el hombre tenía que realizar tareas que le eran propias. El ser humano como fuente de trabajo autónomo tiende a ser ineficaz per sé, carece de fuerza y es extremadamente susceptible a su entorno. *“Un individuo sólo puede levantar y mover cargas que son sustancialmente más livianas que su propio cuerpo. Sin la ayuda de dispositivos mecánicos, esenciales en las tareas de construcción y transporte las cuales habrían sido imposibles. Tres simples ayudas la palanca, el plano inclinado y la polea, fueron usados virtualmente por todas las antiguas culturas desarrolladas”*⁷

El siguiente paso se centró en la utilización de la fuerza animal para realizar tareas que no requerían de la precisión humana pero sí de mayor fuerza. Los animales utilizados eran de diversos tipos pudiendo ser vacunos, equinos, etc. *“Se estima que la domesticación de animales para el tiro se inició más de 5000 a.C. Probablemente la primera operación de tiro fue la del mullimiento de la superficie del suelo para siembre. El transporte se convirtió en la segunda tarea por orden de importancia de los animales de tiro después de la invención de la rueda”*⁸. Este avance permitió la generación de energía con un cambio exclusivamente cuantitativo en la fuente de

⁵ GOUDSBLOM, Joahn “Fuego y Civilización” Andrés Bello, Santiago de Chile, 1995, pág. 16

⁶ GOUDSBLOM, Joahn Op. Cit. Pág. 68

⁷ SMIL, Vaclav “Energy in World History” Westview, Boulder, 1994, Pág. 94 (Traducción del autor)

⁸ ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO) “Energía Animal en la Agricultura en Asia y África” FAO, Roma, 1985, pág. 70

energía, mayor cantidad de comida para los animales de tiro o carga, pero no así cualitativamente pues seguía dependiendo la producción de energía de las fuentes orgánicas.

La ganancia obtenida por las civilizaciones que lograron domesticar y utilizar animales para realizar labores era grande *“El uso de animales de tiro introdujo avances energéticos fundamentales con implicancias que van más allá del cultivo de la tierra y la cosecha”*⁹ En primer lugar los animales requieren menor cantidad de años para comenzar a realizar las tareas de fuerza y transporte (aproximadamente 3 a 4 años dependiendo de la especie) en segundo lugar la energía lograda es sustancialmente mayor a la que puede generar el hombre. Sin embargo, demandan una mayor cantidad de forrajes para satisfacer la demanda energética de los animales de tiro o carga, además de ser fuente importante de alimentos. Mientras que los animales de tiro producen entre 0,4 a 0,6 caballos de fuerza de forma sostenida¹⁰, el hombre logra por menos tiempo apenas un 0,1 pudiendo lograr aumentos de acuerdo a la forma física y la edad *“aproximadamente 0,1 hp (75 w) están disponibles para trabajo útil. Un hombre de 20 años genera cerca de un 15 por ciento más de poder que el normal, y uno de 60 años alrededor de 20 por ciento menos”*¹¹

Las distintas civilizaciones eran pues dependientes de los combustibles orgánicos para poder sustentarse y desarrollarse. Su economía también dependía de la obtención de material orgánico para lograr mantener la maquinaria de subsistencia –en todos los casos- y la productiva –en las civilizaciones más avanzadas-. Durante estas épocas la capacidad productiva estaba íntimamente relacionada con la subsistencia, sin materia orgánica no había capacidad de producir energía.

Debido a ello, tanto los animales de trabajo como los productos agrícolas eran de alto valor para todas las civilizaciones y por ende objetos para ofrendas religiosas. *“El ganado ha sido considerado desde tiempos ancestrales signo de riqueza y posición social, que se la ha identificado con deidades, ha sido elemento de trueque para expiar agravios cometidos y tributo a los Cielos para obtener el preciado don de la fertilidad”*¹²

⁹ SMIL, Vaclav Op. Cit. “Energy in World...” pág. 40 (Traducción del autor)

¹⁰ La fuerza otorgada varía de acuerdo a cada uno de los animales que se utilicen y las condiciones de salubridad del mismo. Igualmente todos entregan más fuerza que el hombre y por más tiempo.

¹¹ AVALLONE, Eugene A. et. alt, “Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers 11th Edition”, Mc-Graw Hill, New York, 2007, pág. 9-4 (Traducción del autor)

¹² DELGADO LINACERO, Cristina “El Toro en el Mediterráneo Antiguo” Revista Historia 16, Nº 273, Enero, 1999, pág. 76.

Hacia el 5000 a.C. en oriente comenzó a experimentarse con el uso del viento con fines de navegación, así pues, por primera vez se utilizaba energía que no fuese de origen orgánico. Durante varios siglos la energía eólica se circunscribió exclusivamente a la función de transporte, sin aplicarse a otro tipo de actividad productiva. Autores indican la probable existencia de molinos de viento durante el primer milenio antes de Cristo, sin embargo no hay evidencia que lo compruebe fehacientemente. En Persia hacia el 500 a.C. se utilizaba la denominada Panémona, un molino de eje vertical que empleaba la fuerza del viento a los fines de molienda o extracción de agua.

Los molinos hidráulicos, utilizaron al agua –otra fuente inorgánica de energía– para fines productivos. A diferencia de los molinos de viento, los cauces de los ríos comenzaron a utilizarse primeramente en occidente antes que en oriente, específicamente en la antigua Grecia.

Los romanos heredaron el sistema y prosiguieron su desarrollo “*El arquitecto romano Vitruvio describe un molino de agua en su tratado De Architectura, probablemente escrito en el año 25 a.C. Durante siglos fue transcrito varias veces, reasumido y manipulado; luego fue analizado, impreso y traducido entre los siglos XV y XVII*”¹³

Los molinos proveyeron una mejora significativa con respecto a las anteriores fuentes de poder “*un molino de agua puede proveer de 3 a 5 hp mientras un molino de viento puede alcanzar entre 8 a 10 hp*”¹⁴

Ambas tecnologías se expandieron en los siglos subsiguientes a la caída del imperio romano por todo occidente convirtiéndose en las fuentes de energía más utilizadas, aunque las más caras de construir.

El avance tecnológico que representó el molino no significó la eliminación de los anteriores, tanto el hombre, como los animales y el fuego siguieron siendo fuentes de energía necesarias e instaladas en las diferentes culturas. La utilización de cada una de ellas correspondía a las funciones específicas por lo cual todas ellas se utilizaban simultáneamente.

Se debe tener en cuenta que los costos que cada una de estas fuentes de energía eran diferentes como así también el resultado obtenido. Tanto en la antigüedad como en

¹³ KOETSIER, Teun; CECCARELLI, Marco “Explorations in the History of the Machines and Mechanisms” Springer, Dordrecht, 2012, Pág. 264 (Traducción del autor)

¹⁴ MALANIMA, Paolo Op. Cit. Pág. 9 (Traducción del autor)

el Medioevo, los poseedores de molinos, de cualquier tipo, eran usualmente personas o instituciones con gran poder adquisitivo como así también los estados.

Durante largos períodos de tiempo las fuentes de energía mencionadas previamente se mantuvieron casi de manera inalterada. Durante el Medioevo se obtuvieron avances respecto del diseño de los molinos de viento como también de los de agua, a fin de aumentar levemente la eficiencia de los mismos, sin embargo, no se avanzó en la utilización de otra fuente de energía que proveyese a las poblaciones mejoras de algún tipo. *“De todos modos, tanto en los países de occidente como de oriente, los molinos de agua tuvieron la preponderancia entre las máquinas de trabajo hasta el advenimiento del motor de vapor”*¹⁵

Es necesario destacar que durante los períodos aquí tratados, la producción de energía estaba prácticamente reservada los sectores más acaudalados, a excepción de la propia fuerza humana y el fuego, la utilización de cualquiera de las otras fuentes de energía requería un costo alto para la mayoría de las sociedades que poseían las tecnologías. Tanto poseer y mantener un animal de tiro, como tener la capacidad de construir un molino (de viento o agua) requerían de un alto capital inicial para realizarlo, y en estos últimos casos el lugar ideal para ubicarlos y que funcionen. La utilización de esclavos en algunas sociedades permitía realizar tareas similares sin la necesidad de invertir en maquinarias costosas, a excepción que la función específica que desarrolle sea solamente realizada por alguna maquinaria, como ser la extracción de agua por parte de los molinos en los polders holandeses.

La versatilidad de las fuentes que generaban energía no eran similares, los molinos de viento y agua eran las fuentes que entregaban mayor poder, sin embargo la cantidad de tareas potencialmente realizables eran escasas y limitadas por la imposibilidad de trasladarse. Contrariamente los animales de tiro y los humanos, poseen la capacidad de realizar una gran variedad de tareas, si a este último ítem se suma la evolución de las herramientas y la alimentación durante el Medioevo además del bajo costo de manutención, se comprende por qué eran las fuentes de energía más utilizadas. Cabe destacar que las sociedades esclavistas lograban obtener mayor retorno sin grandes esfuerzos de inversión.

El fuego prosiguió con su función esencial y de hecho aumentó en la medida que la revolución industrial se implantaba. La modernización de la industria requirió de

¹⁵ KOETSIER, Teun; CECCARELLI, Marco Op. Cit. Pág. 264 (Traducción del autor)

mejoras en el combustible para producir fuego como así también en los hornos, especialmente los dedicados a la industria metalúrgica.

1.2 Cambio de paradigma en el uso de la energía a partir de la industrialización

El sinnúmero de cambios acaecidos en Europa durante los siglos XV al XVII dieron por resultado el primer “gran salto” modernizador que fue la revolución industrial. La misma es explicada por numerosos autores desde distintas perspectivas, si bien no es el caso de esta investigación, se podría resumir en una sumatoria de factores que se conjugaron para que la economía, la sociedad, la ciencia, el transporte, la agricultura y la energía se transformen de manera tal que ya no tengan retorno. El epicentro donde estos factores dieron sus frutos fue en el Reino Unido, el que se posicionó a la vanguardia de la economía y de la industria durante siglos.

Se debe tener en cuenta que la revolución industrial no provocó de manera inmediata y sistemática los cambios ante mencionados. Ellos fueron sucediéndose paulatinamente, aunque sin pausa, conviviendo con el estilo agrario prevaleciente antes de la industrialización. Asimismo, la revolución tampoco se produjo de igual manera a lo largo del globo.

Uno de los principales motores de esta revolución fue el avance tecnológico acompañado del cambio en el tipo de fuente de energía. Durante el siglo XVII en varios países de Europa, los científicos trataban de perfeccionar el uso de maquinarias impulsadas a vapor. -científicos como Giambattista Della Porta, Edward Somerset, Giovanni Branca, Samuel Morland y Denis Papin, entre otros, experimentaron sin gran éxito con la máquina de vapor. Recién en el siglo siguiente con la intervención del motor de vapor diseñado por Thomas Newcome y la subsiguiente mejora que realiza sobre el mismo James Watt, se inicia la verdadera revolución industrial. El motor de Watt permitió hacia finales de siglo el posicionarse al motor de vapor y a la industria inglesa a la vanguardia de la revolución. “*La capacidad promedio de estos motores era aproximadamente de 20 kilowatts, cinco veces más alta que la media de los contemporáneos molinos de agua y casi tres veces más alto que los molinos de viento*”¹⁶

La máquina de vapor necesitaba un combustible que provea la eficiencia adecuada para generar el vapor pero que además no sea costoso. Comenzó a utilizarse el

¹⁶ SMIL, Vaclav Op. Cit. “Energy in World...” pág. 161 y ss (Traducción del autor)

carbón mineral, una fuente que si bien tenía siglos de uso nunca había llegado a tener la relevancia suficiente para ser tenida en cuenta como una fuente de energía de base. De hecho el carbón vegetal tenía más usos que el mineral, hasta el comienzo de la revolución industrial.

La utilización del carbón creó la industria de la energía, la nueva fuente ahora cumplía múltiples funciones, era utilizada en diversas industrias desplazando a las antiguas fuentes de energía. La industria del carbón fue central en el desarrollo de la revolución industrial y se posicionó como un elemento indispensable para el desarrollo, como en la antigüedad lo fue el fuego *“Como sustituto de la leña, el carbón permitió más territorios y otros recursos dedicados a la producción de alimentos y materias primas agrarias”*¹⁷

El período marca una división tajante con el pasado, en primer lugar cambio la concepción de la manera de fabricar revolucionando los índices de producción *“La introducción de las máquinas en orden a convertir el calor en poder fuerza mecánica fue el principal cambio en el sistema de energía, comparable en importancia con el descubrimiento del fuego”*¹⁸

El uso de carbón como combustible contribuyó en gran medida a paliar la gran deforestación acaecida durante los siglos previos a la revolución industrial, además de ser un sustituto más eficiente, si bien existen varios tipos de carbón y madera que provocan distintos rindes *“En promedio, una unidad volumétrica de carbón es equivalente a 7,8 unidades volumétricas de madera”*¹⁹. Las diferentes industrias que utilizaban el fuego requerían enormes cantidades de madera. La sustitución de las fuentes de biocombustibles por carbón sucedió de manera progresiva a nivel general, primeramente en las industrias para luego imponerse a nivel residencial. El traspaso de una fuente de un combustible a otro fue un factor clave para el inicio y la continuidad de la Revolución Industrial.

Los países más industrializados requerían constantemente de una renovación y mejoras que le permitieran posicionarse por encima de sus directos competidores, este proceso favoreció entonces a la evolución cada vez más vertiginosa de la investigación y de los procesos industriales y sociales. Durante todo el siglo XIX la proliferación de

¹⁷ O'BRIEN, Patrick “Provincializing the First Industrial Revolution” London School of Economics , Working Papers of the Global Economic History Network No. 17/06, Enero 2006, pág. 12 disponible en <http://eprints.lse.ac.uk/22474/1/wp17.pdf> (Traducción del autor)

¹⁸ MALANIMA, Paolo Op. Cit. Pág. 11 (Traducción del autor)

¹⁹ SIEFERLE, Rolf Peter “The subterranean Forest. Energy Systems and Industrial Revolution” White Horse Press, Cambridge, 2001 Pág. 103 (Traducción del autor)

nuevos sistemas de motorización, como las mejoras a los sistemas ya existentes dieron por resultado un camino ascendente que influenciaba a las sociedades europeas a pensar que el avance científico inexorablemente conduciría al posicionamiento del positivismo como pensamiento y filosofía reinante. Durante este período el progreso científico comenzaba a entronizarse como el dador de respuestas a los problemas existentes.

La introducción de estas nuevas fuentes de energía sumado a los avances tecnológicos inauguró, especialmente en occidente, un ciclo virtuoso de avances en varios aspectos de la vida que provocaron una verdadera revolución, el entramado social, económico, industrial (metalurgia, transporte, química, textil principalmente) cambiaron completamente, como así también la cosmovisión de la sociedad.

La innovación en los elementos de generación (en especial los de combustión interna, calderas de vapor) rápidamente impulsó la búsqueda de fuentes más eficientes. El avance en la industria química contribuyó ampliamente a la prueba de nuevos productos anteriormente ignorados. Si bien el carbón reinaba en el siglo XIX como fuente de generación energética comenzaba a considerarse a los derivados del petróleo como una fuente digna de ser tenida en cuenta.

El petróleo no era un elemento nuevo, el mismo acompaña al hombre desde los primeros momentos de la civilización cumpliendo una función tanto en la construcción como en la medicina antigua como unguento con propiedades curativas. La antigua utilización del petróleo queda datada por Heródoto en uno de los capítulos de Los Nueve Libros de la Historia, donde la sustancia bituminosa (pez) es utilizada en la isla de Cirauis –actual Kerkennah- *“[...] pégase al ramo la pez la cual sacada así huele a betún [...] Al lado de la laguna abren un hoyo, donde van derramando la pez que, recogida ya en gran cantidad, sacan del hoyo y ponen en unos cántaros.”*²⁰

La escasa importancia de dicho compuesto prosiguió inalterable durante siglos, si bien fue objeto de estudio a lo largo de varios períodos y por diversas civilizaciones.

Hacia 1860²¹ la utilización del kerosene, en reemplazo del aceite de ballena, como combustible para el alumbrado de las ciudades comenzó a focalizar la atención en la extracción y el refinado del petróleo a una escala mayor de la utilizada con anterioridad, encumbrándose como el derivado de mayor importancia comercialmente viable.

²⁰ HERODOTO “Los Nueve Libros de la Historia” Editorial Porrúa, México, 1974, Libro Cuarto – Melpómene- Capítulo CXCV, Pág. 216

²¹ Un año antes, en Pennsylvania, había comenzado a explotarse el primer pozo petrolero de Estados Unidos, comenzando a comercializarse sus derivados el mismo año.

Por otro lado, la búsqueda de motores más eficientes en los siglos XVIII y XIX se vieron profundamente beneficiados con la introducción de los nuevos derivados del petróleo como combustible. *“Los combustibles han tenido gran impacto en el desarrollo del motor. Los primeros motores quemaban gas de carbón para generar potencia mecánica. La gasolina y los derivados ligeros del petróleo estuvieron disponibles a finales de 1800”*²²

Asimismo, otra fuente también conocida desde la antigüedad como lo es el gas comenzó a ser tenida en cuenta como nueva fuente de combustión para generación de energía. Ya en la china antigua se utilizaba el gas para obtener sal *“el primer uso comercial con datos bien documentados corresponden a la Dinastía Han (200 A. C.) en donde los pozos era perforados con herramientas de percusión y el gas era dirigido hacia tubos de bambú que calentaban grandes ollas de hierro y evaporaban sal muera a fin de producir sal”*²³

Por tanto hacia finales del siglo XIX, si bien el carbón se mantenía encumbrado como la fuente primaria para la producción de energía, comenzaban a surgir de a poco las otras fuentes de relevancia como el gas y los derivados del petróleo. Sin embargo, sería la introducción de la electricidad y el motor de combustión interna los que cambiarían el paradigma de los últimos dos siglos y relegarían al carbón a un plano secundario en la centuria siguiente.

1.3 Profundización de los cambios y advenimiento de nuevas tecnologías en el Siglo XX

Si bien el reinado del carbón duró hasta mediados del siglo XX. Desde comienzos de dicho siglo se imponían mecanismos alimentados por combustibles derivados del petróleo, relegando al carbón de forma leve pero sostenida. El cambio no hacía más que demostrar que la transición de fuentes de energía era más vertiginosa. A medida que la tecnología avanzaba, las nuevas fuentes no tenían el imperio de los siglos anteriores donde elementos como la madera, los músculos animales y/o humanos, el viento y el agua se imponían simultáneamente por largos períodos de tiempo, en algunos casos milenios *“Por varios milenios los cambios en sistemas de energía han*

²² GAVIRIA RÍOS, Jorge Enrique; MORA GUZMAN, Jorge Hernán “Historia de los Motores de Combustión interna” Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquía N° 26, Antioquía, Junio 2002, pág. 76

²³ SMIL, Vaclav “Energy Transitions. History, Requirements, Prospects” Praeger, Santa Barbara, 2010, pág. 37 (Traducción del autor)

sido muy lentos. Desde el 1800 las transiciones y sustituciones comenzaron a dominar la situación [...] Mientras el carbón dominó por un largo período hasta la mitad del siglo pasado, y a pesar de que el petróleo mantiene una posición central, la situación actual es más variada”²⁴

Las primeras décadas del siglo XX convivieron las dos fuentes de energía, aunque marcando el ascenso de una era en detrimento de la otra, pasada la mitad del siglo el petróleo superó al carbón como fuente de mayor importancia a nivel mundial. Las mejoras en los sistemas de exploración y extracción lograron que durante las décadas del '50 y '60 se descubrieran grandes pozos petroleros alrededor del mundo quedando desplazado el carbón definitivamente.

Uno de los motivos principales que introdujo la necesidad de cambiar de fuentes de energía fue la introducción de la electricidad *“La máquina de vapor inició la revolución industrial, medio siglo después las aplicaciones de la electricidad acentuaron esa Revolución”*.²⁵ La utilización de la energía eléctrica se impuso como una revolución en sí, la piedra angular de la vida moderna, provocando un cambio drástico en la humanidad. En un primer momento la electricidad sólo tuvo una función de iluminación, sin embargo, la evolución de las diferentes tecnologías la encumbraron como el motor de la modernidad y el progreso *“El motor de inducción eléctrica, inventado por Nikola Tesla en 1888, hizo posible la conversión de energía eléctrica en energía mecánica con alta eficiencia y control. En cuestión de décadas el motor eléctrico revolucionó la producción industrial y la utilización hogareña de la electricidad. Transformó día a día la vida de muchas personas”*²⁶

El motor eléctrico cimentó la segunda revolución industrial y dio forma al siglo XX como al presente. Los aportes de varios científicos, ingenieros e inventores de la época cambiaron el rumbo de la primera revolución industrial, en la cual se habían formado y la transformaron profundamente.

El estilo de vida actual es receptor directo de esta “revolución” introducida hace más de un siglo. La electricidad es el motor e interviniente *sine qua non* de la vida moderna *“Hay muchas razones por las que la electricidad se ha convertido en la forma preferida de la energía y por qué es, en muchos aspectos, absolutamente esencial para*

²⁴ MALANIMA, Paolo Op. Cit. Pág. 14 (Traducción del autor)

²⁵ MIELI, Aldo (comp); PAPP, Desiderio y BABINI, José “Panorama General de la Historia de la Ciencia XII, Ciencia de la tierra y técnica del siglo XIX” Espasa Calpe Argentina, Buenos Aires, 1961, Pág. 81

²⁶ WORLD ECONOMIC FORUM “Energy Vision 2013 Energy transitions: Past and Future” Enero 2013, Pág. 17 (Traducción del autor)

*el funcionamiento normal de la civilización moderna. Los resultados del uso de la electricidad son los beneficios económicos sin igual [sea generada] por cualquier combustible, ya que ofrece eficiencias de conversión superiores finales, la productividad sin igual y flexibilidad sin igual, con usos que van desde la iluminación hasta la calefacción de lugares, de las industrias metalúrgicas a las industrias de alimentos*²⁷

El Siglo XX se presentaba verdaderamente revolucionario desde varios puntos de vista. En primer lugar el progreso científico crecía de forma continua y acelerada, lo que causaba cambios profundos en varios aspectos de la sociedad, principalmente en los países occidentales. Dichos avances modificaron la estructura de la sociedad como así también las costumbres y su comportamiento. Los adelantos eran palpables en varios ámbitos de la vida, el transporte era más rápido, al igual que la comunicación, la salud comenzó a verse favorecida por los descubrimientos médicos como también cambió la estructuración del trabajo.

Detrás de los avances se encontraba la generación de energía con sus nuevos componentes los cuáles mejoraban constantemente. La masificación del uso de la electricidad y por ende de sus fuentes generadoras abrió un sinfín de oportunidades nuevas de desarrollos. En lo que respecta a la generación de energía eléctrica, en 1882 la estación de Pearl Street de Edison generaba en un primer momento cerca de 75 KW de entrega, poco tiempo después las calderas de vapor fueron reemplazadas por las turbinas de vapor, creadas por Charles Parsons, que demostraron mayor eficiencia. Junto con la introducción de corriente alterna y los transformadores el sistema eléctrico mundial mejoró notablemente. Hacia finales de siglo XIX se instalaba la primera turbina generadora de 1 MW, lo que significó un crecimiento exponencial en menos de 20 años y ratificó la importancia de base de la electricidad.

Sin embargo, los avances mencionados no eran acompañados por las relaciones políticas de las potencias europeas, las cuales se encontraban en una tensión constante desde hacía décadas; éstas culminaron en el estallido de la primera guerra mundial, la cual sepultó al optimismo positivista pero no así al avance tecnológico.

Durante el período de guerra el progreso científico se concentró específicamente en los fines bélicos, sin embargo, acabado el conflicto muchos de ellos fueron capitalizados para fines pacíficos. Los enfrentamientos no sólo aportaron grandes

²⁷ MALANIMA, Paolo Op. Cit. Pág. 39 (Traducción del autor)

cantidades de dinero para las mejoras de los adelantos tecnológicos recientes, sino que proveyeron un campo de prueba inmejorable para las nuevas invenciones, razón por la cual pueden descubrirse grandes progresos en varias ramas de la ciencia hacia finales de la primer guerra mundial que previamente a ésta no existían o se encontraban en etapas embrionarias.

Los años de entreguerras se vieron signados especialmente por la crisis económica, la cual ralentizó la marcha de los cambios tecnológicos recientes. Durante este período el petróleo comienza su lineal ascendente que culminará a posteriori con el fin de la hegemonía del carbón. Países como Estados Unidos apelaron a la diversificación de las fuentes de energía durante este período. Dentro de la política del New Deal comenzaron a gestarse una gran cantidad de represas hidroeléctricas con varias finalidades. Entre ellas la más importante era la producción de electricidad, por lo que en su mayoría llevarían generadores y contribuirían a aportar gran cantidad de GW a la red nacional, con la diferencia de ser el estado quien manejaría la generación, generalmente en poder del privado.

La situación crítica hacía que la planificación y ejecución de represas paliara el desempleo reinante *“La crisis de principios de los ’30 se expresó dramáticamente en desempleo. Del casi pleno empleo de 1929, la proporción de desocupación nacional había saltado al 25% a los tiempos de Roosevelt en 1933. Las grandes represas significaban empleo”*²⁸ La utilización de represas hidroeléctricas para la generación de energía era utilizada desde 1882, sin embargo, como ya se explicó con anterioridad, el concepto utilizar la fuerza del agua y transformarla en energía útil contaba con más de 20 siglos de antigüedad.

A los fines de la producción de energía los planes del New Deal cambiaron la matriz energética de Estados Unidos *“Hacia 1940 la energía hidroeléctrica representaba un 40% de la generación de energía en los Estados Unidos y tres cuartos de la electricidad en el oeste de los Estados Unidos provenía de las estaciones hidroeléctricas”*²⁹ Varios países intentaron continuar con una política energética similar para paliar la depresión mundial, uno de ellos era la URSS *“Las capacidades*

²⁸ BILLINGT00N, David y JACKSON, Donald “Big Dams of New Deal Era, A confluence of engineering and politics” University of Oklahoma, Oklahoma city, 2006, pág. 156 (Traducción del Autor)

²⁹ WORLD ECONOMIC FORUM Op. Cit. Pág. 18 (Traducción del Autor)

*hidroeléctricas aumentaron [en la URSS] de 16 MW en 1913 a cerca de 1,6 GW hacia 1940*³⁰

Sin embargo, como fuente productora de energía no era la principal y su planificación y construcción eran muy costosas por lo que no rivalizaba con las turbinas de vapor alimentadas por fuentes fósiles que se mantenían como las más numerosas e importantes.

La inestabilidad política resurgida de las cenizas de la Primera Guerra Mundial resultó en un cruento y más largo conflicto. Así como ocurrió anteriormente el esfuerzo tecnológico e industrial se volcó al desarrollo relacionado directa o indirectamente con lo bélico.

Para cuando estalló la segunda guerra mundial la electricidad estaba masificada³¹ los motores de combustión interna y las turbinas también. El petróleo era una fuente de carácter estratégico como así también lo era el carbón. Llevar adelante una guerra requería inexorablemente la posesión de estas fuentes como así también de la capacidad de generación de energía para mantener, casi exclusivamente, el aparato industrial que sostenía, en primer lugar, la capacidad bélica.

La guerra otorgó al mundo un nuevo poder, el del átomo, el cual más allá de la finalidad bélica para la cual fue desarrollado, comenzó a utilizarse poco tiempo después de acabada ésta como fuente de energía limpia y segura. El crecimiento mundial que ocurrió a posteriori de la segunda guerra mundial resultó en una demanda a gran escala de energía favoreciendo el desarrollo de más turbinas alimentadas por carbón, petróleo y gas. Acompañaron este crecimiento la construcción de más centrales hidroeléctricas a nivel mundial y los países más avanzados comenzaron a construir sus propias centrales nucleares con fines comerciales, introduciéndose de a poco esta nueva tecnología y adquiriendo, a través del tiempo, mayor potencia de generación.

Posteriormente comenzaron a surgir fuentes alternativas de generación de energía, las renovables, que daban una respuesta clara a la demanda mundial de energía no contaminante. Sin embargo, dichas fuentes carecen de la potencia generadora y no logran imponerse dentro de una matriz energética mundial, con una baja representación dentro de ésta.

³⁰ SMIL, Vaclav “Energy Transitions...” Cit. Pág. 102 (Traducción del autor)

³¹ especialmente en los países desarrollados, los países en vías de desarrollo la presencia de energía eléctrica tenía una distribución más heterogénea, especialmente en la distribución de la misma.

Durante todo el relato realizado se puede observar el cambio ocurrido a través de la historia en referencia a la energía. Se vislumbra primeramente un avance lento, las fuentes de energía permanecían durante siglos y hasta milenios durante las edades más antiguas. En el transcurso de los últimos dos siglos esta característica se alteró, no sólo acelerando los tiempos sino que disminuyendo el período de dominio de las fuentes imperantes.

Otra de las características evidentes es el aumento en la capacidad de generación de energía, desde el hombre neolítico como única fuerza motriz hasta las turbinas actuales la capacidad de generación de energía se multiplicó exponencialmente como se puede vislumbrar en el cuadro siguiente:

Tabla 1 - Evolución de la fuerza motriz en la Historia

Período - Fuerza Motriz	Potencia en watts
Neolítico - Trabajo Humano	100
Principios de la Antigüedad - Buey	300
Imperio Romano - Rueda de agua	2000
Hacia el año 1000 - Rueda de agua mejorada	5000
Hacia el 1700 - Rueda de agua mejorada aun más	8000
Hacia 1800 - Máquina de vapor	100.000
Hacia 1900 - Turbina de vapor	10.000.000
Fin de siglo XX - Turbina de Vapor	1.500.000.000

Fuente: SMIL, Vaclav "Word History and Energy" (Traducción del autor)

Cabe aclarar que a pesar del avance en la tecnología en la actualidad muchas de estas formas de generar energía del pasado conviven, especialmente en los países en vías de desarrollo. La utilización de animales de tiro sigue presente en gran cantidad de países en los cuales los avances tecnológicos no son del alcance del sector campesino por lo que utilizan de manera intensiva los animales de tiro para diferentes tareas “*La Subdirección de Ingeniería Agrícola (AGSE) de la FAO informa de que en el África subsahariana, particularmente, la utilización de animales en la agricultura y el*

transporte rural crece año tras año. En países que están en acelerado proceso de urbanización e industrialización -como la India, México, Brasil y Sudáfrica- quizá los grandes agricultores utilicen tractores y camiones, pero muchos pequeños campesinos y transportistas locales siguen utilizando animales. Esta tendencia a las grandes explotaciones agrícolas mecanizadas y pequeñas fincas que utilizan tracción animal es común en todo el mundo”³²

La utilización de la fuerza animal no es solo una cuestión de países en vías de desarrollo, en el mismo informe se pueden vislumbrar países de Europa occidental utilizándolos *“Incluso en la muy desarrollada Unión Europea, la tracción animal todavía abunda en España, Portugal y Grecia, donde las explotaciones agrícolas son pequeñas.”³³*

Del mismo modo, aunque sin la importancia del uso de la energía animal, se sigue utilizando la energía eólica para otras funciones distintas a la generación de electricidad como es el bombeo de agua *“Del total de 6.000.000 de molinos producidos en los EE.UU. hasta comienzos del siglo XX solo 150.000 quedan en operación en nuestros días. En regiones menos desarrolladas, el bombeo de agua con máquinas eólicas continuó siendo en muchos casos la única alternativa económicamente viable. En islas de Grecia, donde aún se utilizan los molinos con palas de tela, en la llamada pampa húmeda de Argentina y en las grandes llanuras australianas, donde se impusieron los molinos multipala tipo americano, las máquinas eólicas pueden contarse de a miles.”³⁴*

Si bien esta utilización de fuentes de energía antiguas continúa, la generación de electricidad está reservada exclusivamente a las fuentes fósiles, nucleares, hidráulicas, eólicas y solar con porcentajes en la matriz energética mundial que varían de acuerdo a los años, tema que será analizado a posteriori, pero que se sostendrá en el corto, mediano y largo plazo. Sin embargo, si se toma en cuenta las fuentes utilizadas para generar energía analizadas aquí, éstas representan apenas la última porción de la línea de tiempo.

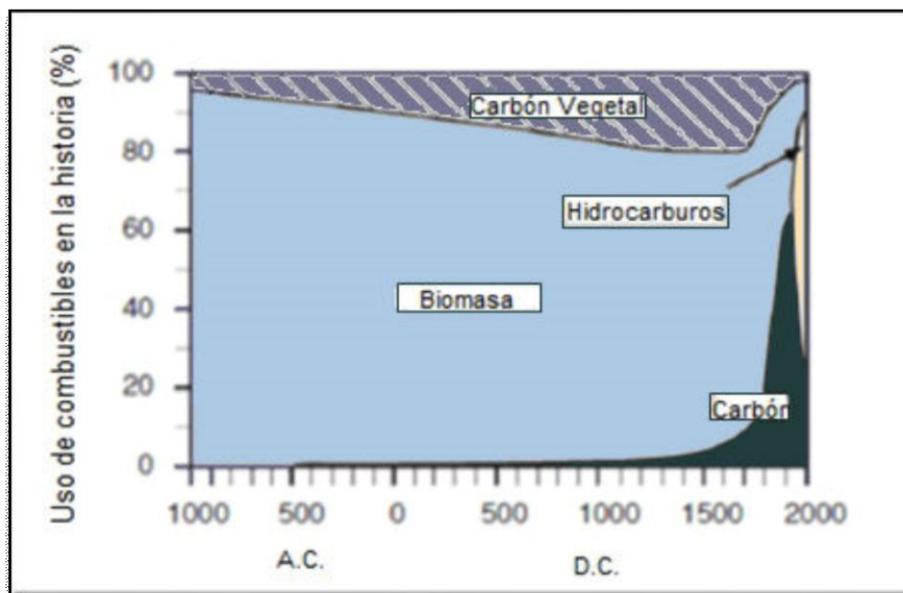
³² ORGANIZACIÓN DE NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO) “Los animales de tiro ganan terreno” Enfoques, 2000. En <http://www.fao.org/ag/esp/revista/0009sp1.htm> (Consultado en enero 2014)

³³ Ibidem.

³⁴ MORAGUES, Jaime; RAPALLINI, Alfredo “Energía Eólica” INSTITUTO ARGENTINO DE LA ENERGÍA (IAE), Buenos Aire, 2003, Pág. 21 y ss. En http://www.iae.org.ar/renovables/ren_eolica.pdf

En la próxima imagen se puede vislumbrar cómo los hidrocarburos apenas aparecen en el cuadro, además de ver la velocidad con la que cambian los patrones de combustibles en los últimos siglos.

Gráfico 1 – Uso del Combustible en la Historia



Fuente: Encyclopædia of Energy, Volumen 6³⁵ (Traducción del autor)

Así pues todos los avances logrados dieron por resultado un crecimiento sin precedentes en la producción de energía que acompañó el desarrollo humano a nivel global. Esto crea un círculo de difícil definición, pudiéndose ubicar dentro de lo virtuoso como de lo vicioso. Por un lado los desarrollos en materia de energía posibilitan el avance de la civilización en todos sus aspectos.³⁶ El impacto se puede encontrar en casi todos los aspectos del desarrollo humano sobre los cuáles se cimentó la vida moderna. El cambio introducido por la electricidad y los otros avances ligados a la implementación de nuevas tecnologías produjo un aumento exponencial en el consumo de energía per cápita³⁷, el cual a pesar de las crisis y del aumento de la

³⁵ SMIL, Vaclav “World History and Energy” Encyclopædia of Energy, Volume 6, Elsevier, Winnipeg, 2004, pág. 557.

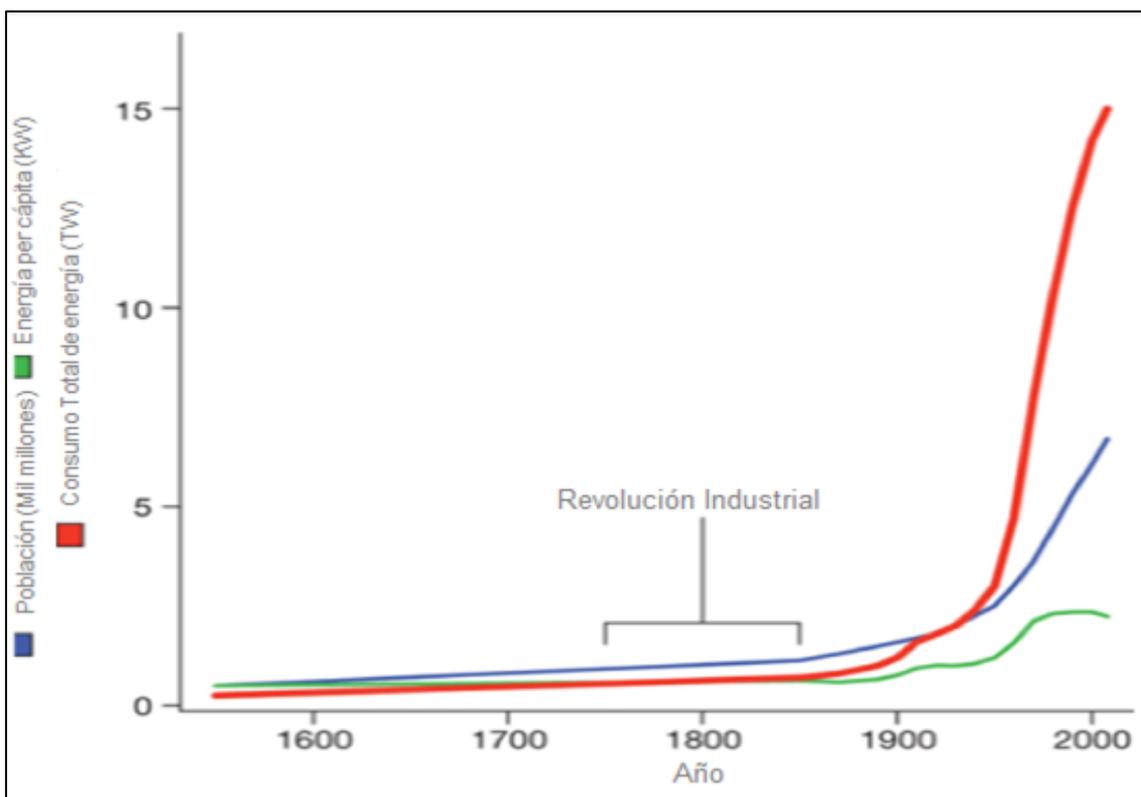
³⁶ Aunque no de un modo equitativo. Siendo los países más desarrollados los que más utilizan dichos avances y los países más pobres apenas poseen una participación en dicho desarrollo. A pesar de esta situación los países en vías de desarrollo igualmente se ven beneficiados, aunque con un impacto bastante menor.

³⁷ Se debe tener en cuenta que las cifras que se analicen serán globales, si estas son analizadas en profundidad, se debe aclarar la gran diferencia del consumo per cápita que existe entre los países desarrollados y los países en vías de desarrollo.

población mundial no ha detenido su avance. Las perspectivas hacen prever que el consumo continúe por esa vía “La Agencia Internacional de Energía (AIE) estima que la economía mundial se multiplicará por cuatro hacia 2050 y prevé que el PBI de China y de la India será diez veces el actual al concluir ese período, medido en capacidad de compra doméstica. [...]China se convierte en el principal consumidor mundial de energía en los próximos años. Según World Energy Outlook 2007 (WEO 2007), su demanda energética crecerá un promedio del 3,2% anual hasta 2030, casi el doble que la mundial (1,8%), y más de tres veces por encima de la estadounidense (1%)”³⁸

Si estos guarismos actuales se los compara con los del pasado es evidente que la civilización actual es netamente dependiente de la energía.

Gráfico 2– Evolución del Consumo de energía per Cápita



Fuente: Revista Nature, Volumen 486, número 7401³⁹ (Traducción del autor)

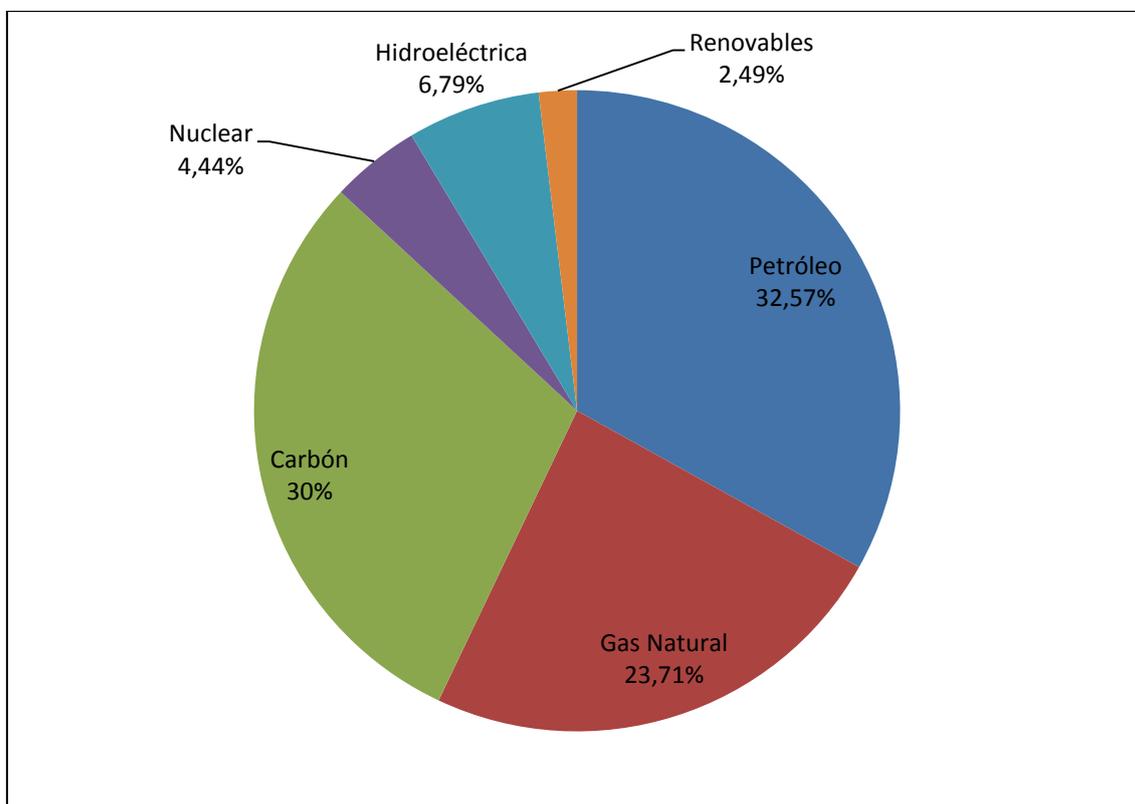
Por otro lado, esta constante demanda de energía por parte del sector industrial, de transporte y el residencial, sumado al crecimiento poblacional, genera una matriz energética dominada mayormente por fuentes fósiles, más baratas y rápidas de

³⁸ CASTRO, Jorge “Perspectivas de la Demanda Energética Global” Revista Petrotécnica, Año LI, Número 1-11, Buenos Aires, febrero 2011, pág. 55 y ss.

³⁹ Disponible en http://www.nature.com/nature/journal/v486/n7401/fig_tab/nature11157_F2.html

construir. Este tipo de plantas genera impactos ecológicos negativos y dependen de una fuente finita de combustible, lo cual es sinónimo de problemas de diversa índole a futuro.

Gráfico 3 - Consumo Mundial Energía Primaria 2014



Fuente: BP Statistical Review of World Energy June 2015. Cuadro de elaboración propia.

A modo de conclusión, desde los primeros momentos de la humanidad se trató de utilizar la energía proveniente de diversas fuentes para modificar el entorno a fin de brindar mejoras en la calidad de vida. Durante los últimos tres siglos la revolución científico-industrial produjo grandes cambios en lo concerniente a producción de energía y a fuentes generadoras. Si bien en la actualidad uno de los grandes desafíos es ampliar a poblaciones marginales los frutos de la electricidad y otros productos de la generación energética. Sin embargo, comparado con el acceso de hace cinco siglos el avance realizado es ciclópeo⁴⁰.

Otro análisis no menos importante es la contaminación que acarrea la producción de energía por medio de fuentes fósiles “En los últimos 200 años ha habido

⁴⁰ De igual manera fue y es el avance en la capacidad de producción de las turbinas, motores, reactores etc. con respecto a los generadores de la antigüedad.

grandes cambios. El consumo de energía creció 60-70 veces y las altas emisiones producidas por los combustibles fósiles han resultado en un dramático crecimiento del nivel de gases en la atmósfera. Dióxido de Carbono (CO₂), vapor de agua, metano, óxido nitroso y a un puñado de otros gases son definidos como gases de efecto invernadero. Su presencia ha crecido rápidamente a partir del uso del carbón y otras fuentes fósiles”⁴¹ Los resultados del efecto invernadero están a la vista y requieren con urgencia ser combatidos a fin de que el avance excepcional logrado por la industria energética en los últimos siglos no sea causa importante de grandes desgracias a futuro.

⁴¹ MALANIMA, Paolo Op. Cit. Pág. 20.

2 Breve historia del desarrollo de la industria Nuclear

“El elemento uranio puede ser convertido en una nueva e importante fuente de energía en el futuro inmediato”

Albert Einstein – Primera carta a F.D. Roosevelt

2.1 Historia de la teoría atómica

La teoría atómica comenzó a gestarse, sin las bases científicas como las conocemos en la actualidad, pero con gran certeza en la antigua Grecia donde el pensamiento sobre las teorías de la naturaleza estaba en mano de los filósofos. De ellos mismos y de su concepción proviene la palabra átomo, del griego ἀ- sin y τομός corte, es decir lo que no se puede cortar o indivisible.

Sin embargo, la concepción de la teoría atomista es atribuida, por el geógrafo Estrabón, a un pensador fenicio de nombre Mosco de Sidón, sobre el cual se tienen muy pocos datos, vivió hacia el siglo XIV a.C. Muchos siglos después los filósofos griegos tomaron este pensamiento y desarrollaron la teoría del atomismo mecanicista. El mentor de esta teoría, del siglo V a.C. fue Demócrito de Abdera, un discípulo de Leucipo de Mileto. Su filosofía se centraba en la composición de todos los elementos de la naturaleza combinados de infinitas maneras para dar forma a los distintos elementos en los distintos estados “*En la naturaleza todo surge a partir de unos elementos indivisibles (átomos) e infinitos en número, moviéndose en el vacío infinito eternamente. Todo lo real se explica por los choques y rebotes de estos átomos que, juntándose en virtud de sus formas infinitas, en un torbellino (diñe) empiezan a girar circularmente y a dirigirse algunos hacia el centro (los más pesados) y otros hacia la periferia (los más ligeros).*”⁴²

La teoría de Demócrito fue descartada por un filósofo contemporáneo a él, Aristóteles cuya significativa trascendencia desacreditó la teoría de Demócrito; Aristóteles sostenía que la materia estaba compuesta por los cuatro elementos.

Posteriormente el filósofo romano Lucrecio tomó esta teoría desde el epicureísmo, lo cual provocó una serie de variables a la teoría planteada anteriormente.

⁴² RODRIGUEZ, Marcelino “Azar, Naturaleza y Arte en los Atomistas y en Platón” Universidad de Sevilla, 2008, pág. 27 En <http://dspace.unav.es/dspace/bitstream/10171/470/5/1.%20AZAR,%20NATURALEZA%20Y%20ARTE%20EN%20LOS%20ATOMISTAS%20Y%20EN%20PLAT%C3%93N,%20MARCELINO%20RODR%C3%8DGUEZ.pdf>

La mayoría de estos autores fueron luego conocidos por medio de otros filósofos, en el caso de Lucrecio su texto tuvo auge 1400 años después.

Verdaderamente, estos autores no tuvieron importancia al momento de investigar la teoría atómica, más allá del dato histórico. La teoría atómica moderna comenzó a gestarse hacia el siglo XIX, con instrumentos que permitían sostener los argumentos teóricos con basamentos científicos sólidos.

John Dalton comenzó a realizar experimentaciones en base a lecturas previas y reformuló las leyes de la química como se la entendían hasta ese momento. A principios del siglo XIX dedujo la ley de las proporciones múltiples. La comprobación empírica de esta teoría todavía se encontraba lejos en el tiempo, la aceptación de la misma distó de ser masiva *“La química de aquellos días no era suficiente para probar la existencia de átomos por medio de la experimentación. Por lo que la teoría de los átomos permaneció como una hipótesis”*⁴³

Algunos científicos contribuyeron a la misma teoría. Entre ellos Faraday por medio de sus investigaciones en el área electromagnética; del mismo modo, Dimitri Mendeleev plasmó el gran aporte, y en cierto punto misterioso, de con realización la tabla periódica.

Los avances en el área de la física y la química posicionaban a Europa en primer lugar a nivel mundial (en especial Inglaterra, Francia y Alemania). Los grandes descubrimientos en torno al átomo serán gestados en el viejo continente a finales del siglo XIX.

Dos eventos importantes son logrados en 1895 y 1896. El primero de ellos es el descubrimiento de los rayos X por parte del físico alemán Wilhelm Röntgen, en segundo término la radioactividad natural, utilizando mineral de uranio, por parte del físico Henry Becquerel.

Posteriormente, comenzó a comprobarse la existencia de elementos subatómicos, electrón, neutrón y varios años después el protón. Esto demostraba que el átomo no era la partícula más pequeña ni tampoco era indivisible, como su propia etimología lo indica.

Científicos de todo el mundo realizaron aportes al conocimiento del átomo como ser el caso de Max Planck, padre de la teoría cuántica o Pierre y Marie Curie, descubridores de los elementos Polonio y Radio, quienes además contribuyeron al

⁴³ “Formation of Atomic Theory” pág. 3 (Traducción del autor). En <http://www.t.soka.ac.jp/chem/iwanami/intorduct/ch01atomic.pdf>

estudio de la radioactividad de los elementos. El físico Neozelandés Ernest Rutherford, por su parte, realizó grandes aportes a la teoría atómica, además de clasificar la radiación en alfa, beta y gamma, trabajó con científicos de otras nacionalidades como el danés Niels Bohr quien contribuiría también al desarrollo de la teoría atómica.

Cabe resaltar que casi todos los científicos modernos nombrados fueron distinguidos, en las diversas áreas del conocimiento, con el premio Nobel y otras importantes distinciones.

2.2 Descubrimiento de la fisión de uranio.

Las convulsiones políticas de principios de siglo XX comenzaron a influir en los descubrimientos científicos y por ende los hallazgos y planteamientos teóricos generados impactaban tanto en el plano político como también en científico, pudiendo encumbrar o condenar a los científicos según sean interpretadas las investigaciones llevadas a cabo.

A pesar de ello, el avance en la teoría atómica no se detenía. La idea desarrollada por Rutherford sobre la energía: *“Si fuese posible controlar a voluntad la velocidad de desintegración de los radioelementos, una enorme cantidad de energía puede ser obtenida a partir de una pequeña cantidad de materia”*⁴⁴

Dicho supuesto teórico fue profundizado por Albert Einstein, quien llevándolo a un plano teórico y extremadamente complejo lo expresó con su famosa fórmula $E=mc^2$ (Energía es igual a la masa por la velocidad de la luz al cuadrado). De poder comprobarse la fórmula y los supuestos previamente planteados, sólo se necesitaba la materia adecuada y el método correcto para producir esa ingente cantidad de energía.

Hacían falta varias décadas para poder comprobar los planteos teóricos de Rutherford y Einstein.

En 1934 el físico italiano Enrico Fermi investigaba el bombardeo de elementos con neutrones, cuando bombardeó al uranio el resultado fue un elemento más liviano que éste, sin embargo los resultados que no eran los esperados, tampoco eran comprendidos del todo por el equipo italiano *“tras un examen más detenido, parecía como si la naturaleza se hubiese vuelto loca, varios otros elementos estaban presentes,*

⁴⁴ RUTHERFORD, Ernest “Radio-Activity” Dover Publications, Nueva York, 2004, Pág. 338 (Traducción del autor)

pero ninguno podría encajar en la tabla periódica cerca de uranio donde Fermi sabía que debería haber cabido, si hubiera obtenido los elementos transuránicos 93 y 94.”⁴⁵

Tres años después los físicos alemanes Otto Hahn y Fritz Strassman bombardearon radio y berilio en mineral de uranio, el resultado fue bario, que contiene la mitad de la masa del uranio. Habían logrado la primera fisión nuclear, además de comprobar empíricamente la teoría de Einstein planteada en 1905. A partir de ese momento los científicos comenzaron a darse cuenta que en ciertas circunstancias propicias, se podía probar el esbozo teórico planteado por Rutherford en 1904.

La fisión nuclear abrió un panorama científico hasta ese momento entendido parcialmente y de manera teórica, sin aceptación de la mayoría de la comunidad científica, las formulaciones y experimentaciones científicas realizadas a posteriori estarían ampliamente influenciadas por la situación política imperante.

2.3 Función bélica y función pacífica de la industria.

Con el ascenso de Hitler al poder en 1933 y su posterior consolidación, fueron varios los científicos que tuvieron que emigrar a causa de las políticas raciales implementadas por “el Führer”.

Gran cantidad de científicos pertenecientes a las investigaciones atómicas fueron expulsados o emigraron preventivamente. Incluso en Italia a partir del endurecimiento de las políticas raciales, el padre de la fisión atómica se tuvo que exiliar pues su mujer Laura era judía. Del mismo modo en Alemania Lise Meitner, su sobrino Otto Frisch, Niels Bohr y previamente Albert Einstein se refugiaron en diferentes países a fin de no caer bajo las garras de la persecución nazi.

Dichas expulsiones o exilios fruto de las políticas raciales complicaron a futuro los desarrollos nucleares alemanes y permitieron que Estados Unidos conformara un equipo de científico especializado en fisión nuclear *“Hitler se refería a la física nuclear como “Física Judía” [...] De este modo resulta claro por qué desde el Ministerio de Educación no hubo inclinación para apoyar el proyecto nuclear”*.⁴⁶

Antes de comenzar la guerra, Estados Unidos no sólo reunía a los mejores exponentes de la ciencia atómica, sino que tenían a su disposición tecnología de punta

⁴⁵ DEPARTAMENTO DE ENERGÍA DE LOS ESTADOS UNIDOS “The First Reactor” Washington, 1982, pág. 1.

⁴⁶ CARPINTERO SANTAMARÍA, Natividad “La Bomba Atómica. El factor Humano en la Segunda Guerra Mundial” Díaz de Santos, Madrid, 2007, pág. 57.

para desarrollar sus investigaciones teóricas. Sin embargo, más allá de los países donde se encontraran los científicos lo cierto era que la posibilidad de realizar una reacción en cadena a través de la fisión del uranio no sólo era posible sino que en debidas circunstancias podría llegar a ser un arma extremadamente poderosa.

Previo al comienzo de la guerra Einstein había estado en contacto con Enrico Fermi y Leó Szilard, los mismo le habían comentado la posibilidad cierta de poder realizar una reacción en cadena a partir del uranio. Sin embargo, no sólo los científicos radicados en Estados Unidos tenían esta certeza; a pesar del destrato de Hitler para esta rama científica, los trabajos sobre el átomo se concentraron aún más.

La evidencia de estos trabajos llevó a Albert Einstein a escribir una serie de cartas al Presidente F. D. Roosevelt donde solicita fondos para desarrollar la investigación atómica que posibilitaría la confección de una bomba muy poderosa. En su segunda carta Einstein advertía al presidente *“Desde el estallido de la guerra, el interés en el uranio se ha intensificado en Alemania. Actualmente me he enterado que la investigación se lleva a cabo con gran secreto y se ha extendido a otra de las Instituciones Kaiser Wilhelm, el Instituto de Física. Esta última [institución] ha sido tomada por el gobierno y un grupo de físicos, bajo el liderazgo de CF Von Weizsäcker, que ahora está trabajando allí en el uranio en colaboración con el Instituto de Química”*⁴⁷

El presidente Roosevelt, hizo caso a las advertencias del Premio Nobel y comenzó a brindar fondos para los experimentos de Fermi y Szilard, además de armar equipos de trabajos con los mejores científicos disponibles en el país.

Hacia el año 1941, el área de inteligencia de los países aliados conocía el retraso del desarrollo en Alemania debido a problemas con el agua pesada y a la dificultad para construir las instalaciones necesarias del proyecto nuclear, sin embargo eso no demoraba sus esfuerzos para conseguir “la super bomba”.

En 1942 el pedido de Einstein tomaba forma en un proyecto secreto conocido como el Proyecto Manhattan, el cual en un principio no revestía importancia. A medida que Estados Unidos se involucraba más profundamente en el conflicto bélico, el proyecto se tornaba cada vez más prioritario *“Así, el “Manhattan Engineer District” fue establecido bajo el mando del General Leslie Groves y el cuerpo de ingenieros del ejército en el verano de 1942 pero no en [el distrito de] Manhattan sino en laboratorios*

⁴⁷ CLARK, Ronald “Einstein: The Life and Times” Avon Books, New York, 1970, Pág. 678. (traducción del autor)

de investigación de las universidades y nuevos pueblos atómicos dispersos a lo largo del país”⁴⁸ Cada uno de los laboratorios tenía funciones específicas con el fin de construir la bomba. La cabeza del sector científico era el reconocido físico Robert Oppenheimer. Además contribuían secundariamente con el proyecto Reino Unido y Canadá.

La concentración de recursos económicos y científicos dio rápidamente sus frutos. En diciembre de 1942 Enrico Fermi, encabezando un grupo de científicos, logró la primera reacción en cadena autosustentada en la Universidad de Chicago. Este evento marcó el comienzo de la era nuclear, las circunstancias políticas provocaron que los primeros esfuerzos de la nueva tecnología, que hacía décadas era sólo un planteamiento teórico y lejano, se centraran en su uso bélico *“La confirmación de los estudios de la reacción en cadena fue una inspiración para los líderes del proyecto de la bomba, y tranquilizador al mismo tiempo, porque Distrito de Ingeniería Manhattan del Ejército había avanzado en muchos frentes.”*⁴⁹

Estos eventos colocaban a Estados Unidos a la cabeza de la investigación atómica por sobre el resto de las naciones, tanto las aliadas como las que conformaban el eje, en especial Alemania. Una mención especial corresponde al desarrollo atómico en Alemania, país que si bien perdió alguno de sus científicos atómicos no los perdió a todos, sin embargo al finalizar la guerra generó gran sorpresa el poco avance en dicha materia. Se debe tener en cuenta que las condiciones de trabajo no eran las propicias⁵⁰ para la realización de las investigaciones, pero el temor inicial que llevó a Estados Unidos a desarrollar el proyecto Manhattan estaba lejos de concretarse.

Los largos interrogatorios realizados en la posguerra dividieron a los analistas, por un lado existía la creencia de la propia incapacidad para lograr grandes avances y por otro lado la teoría del autoboicot para no otorgar un arma demasiado poderosa al régimen nazi *“En cualquier caso, lo que sí resulta claro es que la investigación alemana se vio afectada por diversos factores que contribuyeron negativamente a su desarrollo, entre ellos, el cambio constante de jefaturas y que los grupos trabajaban*

⁴⁸ CANDELTON, Philip; HEWLETT, Richard y WILLIAMS, Robert “The American Atom (A Documentary History of Nuclear Policies from the Discovery of Fission to the Present)” University of Pennsylvania Press, Pennsylvania, 1984, Pág. 21. (traducción del autor)

⁴⁹ DEPARTAMENTO DE ENERGÍA DE LOS ESTADOS UNIDOS, Op. Cit. pág. 2

⁵⁰ Los investigadores alemanes trabajaban sobre el mismo campo de guerra, con presiones políticas más extremas y con las deficiencias propias de encontrarse bajo fuego, como ser los sucesivos ataques sufridos a la planta de agua pesada.

separadamente sin un buen intercambio de información entre ellos”⁵¹ Cualquiera sea la causa lo cierto es que Alemania fue derrotada antes de poder lograr una reacción en cadena sostenida, esencial para la construcción de una bomba atómica. Por otro lado, cuando Estados Unidos estaba cerca de realizar las primeras pruebas de la bomba, el objetivo primario por el cual se había realizado el proyecto ya había sido derrotado.

A pesar de la caída de Alemania, el conflicto continuaba en el pacífico y el proyecto Manhattan ya había producido suficiente material fisible para realizar pruebas como así también se habían desarrollados los mecanismos y métodos de fisión para que el artefacto funcione.

Finalmente el 16 de julio de 1945, los años de esfuerzo y la ingente cantidad de recursos públicos dedicada al proyecto científico dieron sus frutos. Aquel día en Alamogordo se realizó el primer test, llamado Trinity *“La explosión, que temporalmente cegó a los observadores más cercanos, 10.000 yardas, creó una bola de fuego de color naranja y amarillo cerca de 2.000 yardas de diámetro de la que surgió una estrecha columna que se elevó y la aplanó en forma de hongo. La explosión destruyó el suelo del desierto, dejando un cráter de poca profundidad, de unos 10 pies y unos 400 yardas de diámetro, en el que la radiactividad superó con creces las estimaciones previas a la prueba”*⁵². Acababa de suceder la primera explosión atómica, restaba entonces armar las bombas atómicas para utilizarlas en el conflicto.

A partir de las diferentes investigaciones realizadas había dos métodos para lograr una explosión atómica, por implosión del núcleo de plutonio y por otro lado se había desarrollado el sistema de “tipo cañón” con un núcleo de uranio. Los sistemas eran complicados, especialmente el de plutonio y el segundo si bien no requería de la complejidad del anterior si necesitaba uranio U²³⁵ un isótopo que se encuentra en mucha menor cuantía por lo que es difícil obtenerlo.

La prueba realizada en Alamogordo era sobre el sistema de implosión de plutonio. Se tenían ciertas dudas sobre el funcionamiento, sin embargo los resultados exitosos habilitaron el uso de la misma en el teatro de operaciones del pacífico. Así pues, ese mismo mes estuvieron disponibles para su utilización la bomba “Little boy” de tipo cañón de uranio y la “Fat man” de tipo implosión de plutonio. Hacia finales de julio el Presidente Harry S. Truman ordenaba la utilización de las bombas atómicas al

⁵¹ CARPINTERO SANTAMARÍA, Natividad Op. Cit. pág. 55

⁵² FEHNER, Terrence, GOSLING F.G. “The Manhattan Project” Departamento de energía de Estados Unidos, Abril 2012, pág 5. En <http://energy.gov/sites/prod/files/The%20Manhattan%20Project.pdf> (Consultada en diciembre 2013)

General Carl Spaatz. La orden decía en su artículo primero *“El grupo compuesto 509, el 20^{mo} de la fuerza aérea, deben lanzar la primera bomba especial tan pronto como el clima permita visual, realizando el bombardeo después del 3 de agosto de 1945 en uno de estos objetivos: Hiroshima, Kokura, Miigata y Nagasaki”*⁵³

Precisamente cuando el clima lo permitió se puso en marcha la orden presidencial y el 6 de agosto se lanzaba la primer bomba atómica (Little boy) sobre la ciudad de Hiroshima; los 13 kilotonnes de poder redujeron a cenizas a gran parte de la ciudad. Ese mismo día el Presidente Truman se dirigió a la población anunciando el evento *“Hace dieciséis horas un avión americano lanzó una bomba sobre Hiroshima y destruyó su utilidad para el enemigo. La bomba tuvo un poder mayor a 20.000 toneladas de TNT. La energía liberada por la explosión fue dos mil veces más potente que la bomba británica “Grand Slam” la cual era la bomba más potente utilizada en guerra [...] Con esta bomba ahora hemos sumado un nuevo y revolucionario incremento en poder de destrucción que complementará el crecimiento de poder de nuestras fuerzas armadas. En su forma actual estas bombas están ahora en producción e incluso se están desarrollando más poderosas”*⁵⁴

Tres días después Fat Man liberaba 22 kilotonnes de poder sobre Nagasaki aunque con resultados menos catastróficos que en Hiroshima. Quedaba pues concretado el objetivo por el cual se implementó el proyecto Manhattan, la era atómica de función bélica comenzada para iniciar una nueva era en armas, las de destrucción masiva.

La era atómica mostraba su provecho en su faz bélica y terminada la guerra, con el subsiguiente sistema mundial bipolar, las potencias vencedoras pondrían los ojos sobre esta tecnología específicamente para desarrollar armamentos nucleares. Las investigaciones y los desarrollos para las funciones de carácter pacífico tardarían unas décadas más en aparecer.

2.4 La industria de posguerra.

Inmediatamente después de la guerra no se tenía en mente otra función para la energía atómica que no sea la militar, todos los desarrollos e investigaciones centraban

⁵³ Disponible en <http://www.dannen.com/decision/handy.html> (Traducción del autor) (Consultada en diciembre 2013)

⁵⁴ Disponible en <http://www.pbs.org/wgbh/americanexperience/features/primary-resources/truman-hiroshima/> (Traducción del autor) (Consultada en diciembre 2013)

su esfuerzo en mejorar las armas existentes (especialmente en Estados Unidos que ya las poseía) y otros países buscaban lograr la tecnología suficiente para conseguir la primera arma nuclear.

Ante la demanda de los militares estadounidenses para controlar el desarrollo y la tecnología nuclear y las dudas que generaba a nivel político este reclamo se sancionó la ley que creaba la Comisión de energía atómica -US Atomic Energy Commission (AEC)- dejando en manos civiles y con controles políticos la tecnología nuclear. Sin embargo quienes quedaban fuera eran los científicos canadiense y británicos quienes ya desde 1945 estaban siendo apartados de las investigaciones en el marco del Proyecto Manhattan *“Un proyecto de Ley presentado en el congreso como la ley de energía atómica de 1946 –la ley McMahon- cuyo fin último era a partir de ese momento hacer ilegal para los estadounidenses dar a sus antiguos aliados cualquier tipo de acceso a la información sobre energía nuclear”*⁵⁵

A partir de la nueva ley los países colaboradores en el proyecto Manhattan tuvieron que realizar sus propios desarrollos. Por otro lado los soviéticos se encontraban atrasados en el perfeccionamiento de la tecnología básica de la energía nuclear, no pudieron capturar a los físicos alemanes que se encargaban de la investigación atómica, quienes fueron capturados en su mayoría por fuerzas británicas.

Sin embargo, los soviéticos apelaron al espionaje cuyo resultado podría calificarse de perfecto pues a cuatro años de la finalización de la segunda guerra mundial, lograron superar décadas de retraso referentes a investigación atómica e hicieron estallar su primera bomba atómica (copia idéntica de Fat man) en 1949. Comenzaba a partir de ese momento una verdadera carrera atómica, en busca de cantidad y calidad armamentista, de hecho, poco años después ambos países realizaban pruebas de armas nucleares de hidrógeno, de tal poder que la medida kilotón es suplantada por megatón. Tanto Estados Unidos como la Unión Soviética obtuvieron dicha tecnología en 1952 y 1955⁵⁶ respectivamente.

⁵⁵ PATTERSON, Walter C. “Nuclear Power” Penguin Books, Middlesex, 1983, pág. 79 (Traducción del autor)

⁵⁶ Generalmente se le atribuye a la Unión soviética la detonación de un dispositivo termonuclear en 1953 con la bomba RDS-6, sin embargo, técnicamente dicho dispositivo no fue una bomba de hidrógeno propiamente, sino que estaba a mitad de camino entre una bomba A y una bomba H. El logro pleno ocurrió en 1955 con el dispositivo RDS-37.

3 Energía nuclear y desarrollo

“La energía atómica por ejemplo, puede colocarse entre los “átomos por la paz”, tanto como en las guerras atómicas. “

Arnold Toynbee “Cambio y Hábito” p. 53

3.1 Crecimiento de la energía nuclear y su aporte al desarrollo.

La energía nuclear demostró, en épocas de posguerra, una multiplicidad de usos factibles para fines pacíficos. El primer problema que se presentaba era la dificultad para lograr una producción de energía en base al poder del átomo que sea rentable, especialmente en momentos donde el petróleo y el carbón se encontraban a valores bajos. El otro problema era la capacidad para dominar la tecnología, la cual era extremadamente compleja. Ambas limitaciones estaban íntimamente relacionadas pues lo segundo era el factor clave para la solución del primer problema, es decir, los altos costos del desarrollo tecnológico.

Por otro lado, los países en capacidad de enfrentar los desafíos de generar energía eléctrica a partir de la fisión nuclear no sólo eran pocos sino que el foco principal para su desarrollo era exclusivamente militar.

La sumatoria de estas condiciones producían un resultado negativo para el desarrollo y la implementación de tecnologías basadas en la energía nuclear con fines pacíficos. Sin embargo, nunca estuvo ausente, en los científicos detrás de las investigaciones y proyectos nucleares, la idea de utilizar la nueva fuente de energía en pos del desarrollo humano.

Lise Meitner, una de las grandes científicas e investigadoras de la teoría atómica decía al respecto “*No quisiera yo terminar esta exposición sin recordar hasta qué punto deseaba que la recién descubierta fuente de energía fuera utilizada únicamente con fines pacíficos.*”⁵⁷ Incluso muchos de los científicos que estuvieron dentro del proyecto Manhattan posteriormente al uso de la bomba se mostraron arrepentidos o contradijeron sus primeras intenciones, posiblemente el caso más representativo sea el de Leo Szilard.

Más allá de las intenciones bélicas para el desarrollo de la energía nuclear, los cimientos de esta tecnología ya estaban colocados. Los principios para controlar la reacción en cadena así como la creación de reactores nucleares ya estaban implementados.

⁵⁷ MEITNER, Lise “Aciertos y Desaciertos en torno a la Energía Nuclear” pág. 8. Disponible en http://www.iaea.org/Publications/Magazines/Bulletin/Bull040su/Spanish/04004790608su_es.pdf

Así pues, los países que pudieron dominar dicha tecnología, que en un principio fueron los vencedores de la segunda guerra mundial, comenzaron a desarrollar usinas bajo un criterio similar a los generadores térmicos, esto es, producir vapor por medio del calor obtenido el cual atravesará una turbina de generación. El principio básico es similar⁵⁸, el sistema de obtención de calor es diametralmente distinto y potencialmente más peligroso que sus pares térmicos fósiles, consecuentemente las medidas de seguridad y la tecnología necesaria para la obtención de materiales fisibles la transforma en una industria considerablemente más costosa de construir y operar.

Los comienzos de la energía nuclear con fines pacíficos tuvieron que pasar primeramente por un largo período experimental para luego comenzar a crecer lentamente. La demanda de energía creada durante el período de postguerra necesitaba de soluciones rápidas, probadas y del menor costo posible, ninguna de estas características eran cumplidas por la energía nuclear. *“Desde el fin de la segunda guerra mundial hasta la crisis energética de principios de 1970, la tasa promedio de crecimiento en consumo de energía fue de 4,9% por año. La población mundial creció a 4000 millones de personas. En promedio, el PBI creció cerca del 5% por año. El petróleo se convirtió en la forma dominante de energía”*⁵⁹

Así pues hasta la crisis del petróleo, el espacio logrado por la energía nuclear fue reducido, aunque de crecimiento sostenido. No sólo los precios de los combustibles fósiles atentaban contra la utilización de la energía nuclear con fines pacíficos, sino también las políticas herméticas de los países poseedores de la tecnología. Durante la década del cuarenta y cincuenta todo avance tecnológico era mantenido en secreto, siendo celosamente custodiados por los servicios de inteligencia a fin de que no trascienda las fronteras. La transferencia de información relativa a la industria nuclear estaba castigada con la pena capital.

Luego de la política de “Átomos por la Paz”, comenzaron a abrirse un poco más las investigaciones científicas sobre la energía nuclear, quedando dicha apertura a un nivel estrictamente académico continuando lo militar siendo objeto de protección gubernamental.

Esta apertura logró que en 1957 se creara la OIEA (Organización Internacional de Energía Atómica) con sede en Viena. Organismo que forma parte de la ONU, al cual

⁵⁸ Vale remarcar el concepto de principios básicos similares, en la medida que se especifica el estudio de los sistemas las diferencias entre ambas formas de generación se profundizan.

⁵⁹ CERl (Canadian Energy Research Institute) “World energy: The Past and Possible Futures” CERl, Calgary, 2008, pág 40. (Traducción del autor)

informa, cuyos propósitos son *“Acelerar y ampliar la contribución de la energía atómica a la paz, la salud y la prosperidad en el mundo entero. Asegurar que la asistencia que preste, o que se preste a petición suya o bajo su dirección y control, no sea utilizada de modo que contribuya a un fin militar”*⁶⁰

La creación de un organismo internacional mostraba un cambio a nivel global con respecto a la energía nuclear además de otorgarle un impulso a la industria.

Hacia finales de los años cincuenta se encontraban en funcionamiento las centrales nucleares de Obninsk (URSS), Calder Hall (Reino Unido) y Shippingport (Estados Unidos), todas ellas de carácter más experimental que comercial, dado que contribuían poco a la producción de energía de las respectivas redes por poseer reactores de baja potencia.

La intención de los países en vías de desarrollo de obtener este tipo de energía siempre estuvo limitada principalmente por estas tres variables (costo, tecnología y materiales sensibles). Por ello durante las primeras tres décadas y hasta la actualidad, aunque en menor medida, la energía nuclear fue un componente casi exclusivo de los países desarrollados.

Con sistemas políticos diferentes, la URSS poseía centrales nucleares desarrolladas y operadas por el Estado mientras en Estados Unidos y Europa el desarrollo de las centrales como así también la operación correspondía a los privados por lo que se incluía la idea de generar ganancia al apostar por la energía nucleoelectrónica.

Sin embargo, la energía nucleoelectrónica no podía rivalizar de ningún modo con la electricidad producida por el petróleo, el barril de petróleo WTI era de 1,8 dólares (unos 14,23 dólares a valor de 2014) una fuente muy barata con una tecnología mucho más simple para producir energía. Si bien el petróleo posee otras características negativas (que serán desarrolladas en el punto 4.2) los factores antes mencionados no daban posibilidad alguna de competencia al uranio a los fines de producción energética.

Párrafo aparte se merece el temor que generaba en la población esta tecnología tan nueva, compleja y por sobre todo tan ligada a un arma de destrucción masiva. La multiplicidad de factores en contra, descriptos anteriormente, dificultaron en gran medida el crecimiento de esta tecnología. Sólo hacía falta que algunos de ellos

⁶⁰ ALVAREZ LONDOÑO, Luis Fernando “Historia del Derecho Internacional Público” Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, 2006, pág. 189.

comenzaran a cambiar, hecho que ocurrió hacia finales de la década del sesenta y especialmente principios de la década del setenta.

Varios factores se conjugaron para que este desarrollo comience a dar resultados, uno de ellos el avance en la tecnología, lo que resultó en reactores de mayor potencia que abarataban los costos de producción de energía. Otro factor no menos importante fue la disponibilidad de uranio *“La superproducción de material fisionable que muy pronto saturó los arsenales atómicos permitió disponer de excedentes para ser utilizados en reactores energéticos”*⁶¹ Por otro lado, el crecimiento de la demanda industrial durante la década del '50 y '60 era un factor que presionaba cada vez más para que la energía nuclear abandone su etapa experimental y se instale a fin de otorgar electricidad a los sistemas de los países industrializados.

Con la introducción de los reactores de segunda generación cuya potencia de entrega neta era muy superior a la primera generación los costos se tornaron más competitivos *“Los reactores de 2ª Generación son la clase de reactores comerciales diseñados para ser económicos y confiables. Diseñados para una vida operacional de 40 años, los reactores prototípicos de 2ª generación incluyen a los Reactor de Agua Presurizada (PWR), Reactor Canadiense de Deuterio Uranio (CANDU), Reactor de Agua hirviendo (BWR), Reactor Avanzado refrigerado por gas (AGR) y el Reactor energético de Agua-Agua (VVER)”*⁶²

Esta nueva generación de reactores permitió a diferentes países comenzar a operar comercialmente y entregar a la red eléctrica gran cantidad de Gigawatts anuales. En el cuadro contiguo se puede apreciar la construcción y puesta en servicio de nuevos reactores nucleares durante la década del '60.

⁶¹ CASTRO DIAZ-BALART, Fidel *“Energía Nuclear y Desarrollo”* Ediciones Colihue, Buenos Aires, 1991, pág. 93.

⁶² GOLDBERG, Stephen; ROSNER, Robert *“Nuclear Reactors: Generation to Generation”* American Academy of Arts and Sciences, Cambridge, 2011, pág. 4 (Traducción de Autor)

Tabla 2 - Crecimiento de la Energía nucleoelectrica: 1959-1969

Año	Comienzo de la Construcción		Conexión a la Red	
	Unidades	GW(e)	Unidades	GW(e)
1959	6	0,9	5	0,3
1960	10	1,0	6	0,6
1961	6	1,1	2	0,1
1962	8	1,3	10	1,0
1963	5	1,4	7	0,4
1964	10	3,0	8	1,1
1965	10	3,5	9	1,6
1966	16	7,4	8	1,2
1967	23	15,2	10	2,1
1968	38	26,1	6	1,1
1969	17	12,7	11	3,5

Fuente: N.L. Char y B.J. Csik, El desarrollo de la energía nucleoelectrica: historia y porvenir

De forma paulatina durante la década del sesenta comenzó a tener presencia no sólo la energía nuclear sino la industria nuclear en sí. El ciclo de combustible de los reactores requiere de un complejo entramado, el cual se complejiza aún más si el reactor requiere de uranio enriquecido. En torno a esta nueva y esperanzadora energía surgían industrias conexas y nuevas posibilidades de negocios, como la venta de reactores, suministros, material fisible, recepción y depósito de residuos, materiales para medicina nuclear, por mencionar algunos.

Comenzaba entonces a venderse tecnología, anteriormente vedada a varios países, incluso los que estaban en desarrollo, como fueron los casos de Argentina, Paquistán e India.

Durante los sesenta la industria nuclear de carácter comercial comenzaba a asomar como una generadora de ganancias, no sólo por otorgar energía eléctrica. A partir de este momento lo concerniente a lo nuclear no era algo meramente técnico-experimental y militar, se convertía en una fuente comercialmente viable y posicionaba a los poseedores de esta tecnología en la elite industrial mundial.

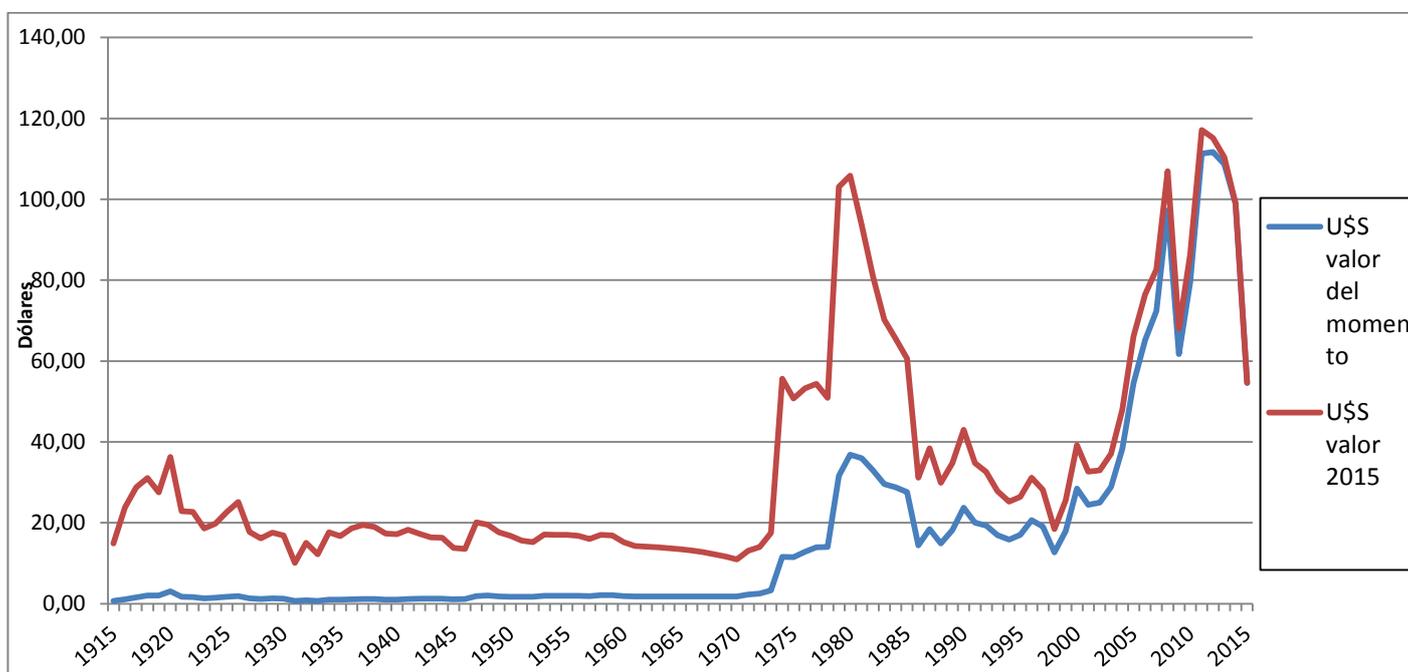
De forma parsimoniosa comenzó a tomar su lugar dentro del mercado y a conformar un nuevo lobby que rivalizaría con uno de los más poderosos lobbies del mundo, el petrolero. Esto llevó a que el recelo del principio basado en cuidar los secretos militares de la energía atómica diera lugar a recelo caracterizado en el uso de inteligencia industrial.

Así como el impulso inicial fue gracias a una contienda bélica, el gran empuje comercial a la industria nació también de una guerra. En octubre de 1973 Egipto y Siria

atacaron a Israel a fin de recuperar los territorios perdidos en la “Guerra de los Seis Días”. A diferencia de la antemencionada guerra Israel tuvo serias dificultades de respuesta frente a sus atacantes, siendo invaluable la ayuda prestada por Estados Unidos para equilibrar los combates. Los países árabes, en su mayoría grandes exportadores de petróleo que conformaban la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP), tomaron como represalia la limitación de exportación, provocando una suba inusitada del precio “*El embargo consistió en la reducción de 5 millones de barriles por día. En el mundo occidental el embargo petrolero se hizo evidente por la escasez y elevación de los precios de las gasolinas, lo que generó un enorme pánico social. Para 1974 el déficit del mercado ya era del 7% de la producción mundial*”⁶³

El petróleo empezó el año 1973 a 2,48 dólares subiendo a 3,29 dólares al empezar la guerra, hacia el año 1974 el precio ascendía a 11,58 dólares para mantener una tendencia en alza durante muchos años. Se debe tener en cuenta que los valores ante mencionados son a dólar de la época, si se toma a valor del dólar de 2012 el precio del petróleo, previo al bloqueo de la OPEP, sería de unos 15,89 dólares y en 1974 se ubicaría en los 50,41 dólares.

Gráfico 4 - Evolución valor del Petróleo 1915-2015



Fuente: <http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/energy-economics/statistical-review-of-world-energy-2015>. (Realización propia.)

⁶³ PINEDO VEGA, José Luis “Petróleo en Oro y Negro” LibrosenRed, Buenos Aires, 2005, pág. 32

La grave crisis que provocó a nivel mundial y especialmente en los países industrializados cuya dependencia del petróleo era muy amplia, generó la necesidad de replantear la matriz energética. Así pues, se acrecentaron enormemente la cantidad de centrales nucleares construidas durante la década del '70. Las mismas demostraban un alto grado de seguridad y cumplimiento.

La planificación estratégica requería con urgencia de un sustituto a los combustibles derivados del petróleo cuya volatilidad y dependencia de otros mercados demostraba ser una debilidad. La matriz energética de los países desarrollados comenzó a planificarse a mediano plazo con menor dependencia del petróleo y el gas y ampliando la participación de otras fuentes en especial la nuclear.

Tabla 3 – Crecimiento de la energía nucleoelectrica 1970-1979

Año	Comienzo de la Construcción		Conexión a la Red	
	Unidades	GW(e)	Unidades	GW(e)
1970	37	24,4	6	3,3
1971	22	16,1	16	7,3
1972	22	19,3	16	8,8
1973	23	18,3	20	12,5
1974	35	29,8	26	16,9
1975	40	38,0	15	10,2
1976	29	27,2	19	14,1
1977	15	14,5	18	13,3
1978	21	18,2	20	15,8
1979	21	19,7	8	7,0

Fuente: N.L. Char y B.J. Csik, El desarrollo de la energía nucleoelectrica: historia y porvenir

Se debe tener en cuenta que a pesar de la expansión ocurrida en lo referente a centrales nucleares en la década del '70, este seguía siendo un tema casi exclusivo de los países desarrollados *“en 1974 sólo tres países en desarrollo: India, Pakistán y Argentina tenían centrales nucleares en operación”*⁶⁴

Si se comparan los dos cuadros referentes a la construcción y conexión de unidades entre las dos décadas se evidencia la mayor demanda de energía nucleoelectrica en la década del '70. Países como Francia comenzaban a imponer este tipo de fuente energética como la más importante dentro de su matriz *“En 1973, como consecuencia del aumento de los precios del petróleo, el programa francés de desarrollo nuclear se aceleró, y comenzaron a construirse de cinco a seis unidades de*

⁶⁴ CASTRO DIAZ-BALART Op. Cit. pág. 107.

900 MW anualmente”⁶⁵ Mención aparte merece el caso francés por varios motivos, en primer lugar la búsqueda de independencia con respecto al petróleo, en segundo lugar, la utilización de la política e inteligencia estratégica para cambiar la matriz energética y desligarse así de la dependencia del suministro de un commodity mostraban irregulares y comenzaba a ser un problema. Esto resultó en el caso paradigmático que hoy es Francia, país en el cual en el año 2012 el 76,1%⁶⁶ de la energía producida es de procedencia nuclear, dicho porcentaje se mantiene en una cifra similar desde el año 1990, siendo el país con mayor aporte de energía nuclear en su matriz energética superando por más de un 30% al segundo, en este caso Ucrania.

Así pues, en la década del '70, se impulsó una creciente demanda de unidades alrededor del mundo y el consiguiente aumento en las ganancias que brindaba la industria, el lobby nuclear comenzó a presionar fuertemente para mejorar su posición, aún débil, entre el sector político. Los resultados hasta finales de la década fueron más que promisorios. No es casualidad que el número record de inicio de construcciones de reactores sucediera durante mediados de la década, aunque con guarismos diferentes. Fuentes distintas ubican a este período como el más activo en el inicio de proyectos nucleares.

En el cuadro anteriormente citado los autores Char y Csik ubican al año 1975 como el de mayor inicio de construcciones con 40, la IAIE ubica al año 1976 como el mayor con 43 reactores iniciados siendo precedidos por los años 1974 y 1975 con 38 construcciones cada uno⁶⁷. La fuente de la IAEA da un resultado de 305 reactores comenzados en aquella década mientras que el artículo de Char y Csik 265. Más allá de las diferencias de fuentes, donde la de la IAEA más actualizada parece más cerca de la realidad, ambos textos coinciden en que aquel fue el período de mayor crecimiento en la industria nuclear, como nunca antes se dio y hasta el momento nunca se volvió a dar.

Durante la década del '70 se asentó la industria como una fuente viable y de gran importancia para sostener un constante abastecimiento eléctrico dando respuesta a la demanda creciente. Las centrales nucleares se instalaron como uno de los pilares de la energía de base proporcionando electricidad las 24 horas los 365 días del año, con mantenimientos programados previamente lo que permitía suplir su generación por otro

⁶⁵ *Ibidem*, pág. 103

⁶⁶ INTERNATIONAL ENERGY AGENCY “Key World Energy Statistic 2014” París, 2014, pág.17 En <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/keyworld2014.pdf> (Consultado en octubre 2015)

⁶⁷ INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY “Nuclear Power Reactors In The World. Edition 2013” IAEA, Reference Data Series N°2, Viena, 2013, pág. 79.

medio y con un índice muy alto de prestaciones a la red “*Los factores de capacidad [...] han alcanzado una media mundial del 84%, siendo muy frecuentes en los países de la OCDE donde se registran medias del 90%.*”⁶⁸

Los países industrializados vieron la opción nuclear como la respuesta al crecimiento de la demanda de energía con un alto grado de independencia de los commodities internacionales. Los países en desarrollo tenían otra visión, a pesar de que varios debían responder a los requisitos previamente impuestos por las potencias, para estos países ser nuclear iba acompañado de un importante desarrollo académico, institucional, industrial y tecnológico, aunque el aporte a la matriz energética fuese bajo.

Durante las siguientes décadas muchos países se unieron al desarrollo nuclear pacífico, si bien a nivel mundial no posee un porcentaje mayoritario en cuanto a generación si posee un rol preponderante. En la actualidad la energía nuclear posee una relación positivamente simbiótica con el desarrollo, y a pesar de las críticas que arrecian, la tendencia se mantiene en aumento y son varios los países que quieren adentrarse en esta tecnología.

La relevancia que tomó la industria, logró superar sucesivas crisis y conformar una industria con más de 200 lobbistas “*gastando un estimado de 20 millones de euros en actividades de lobby*”⁶⁹ que logra lidiar con otros lobbies energéticos mucho más poderosos.

⁶⁸ FORO NUCLEAR “La Energía Nuclear en la Cobertura de la Demanda del Sector Eléctrico: Presente y Futuro.” 2008, pág. 9 En http://www.mapfre.com/documentacion/publico/i18n/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=1055658 (Consultada en marzo 2014)

⁶⁹ Corporate Europe Observatory (CEO) “Nuclear Contamination, A year after Fukushima, why does Brussels still back nuclear power?” Marzo 2012, pág. 2. En http://corporateeurope.org/sites/default/files/publications/nuclear_contamination_march2012_0.pdf (Consultada en marzo 2014)

4 Descripción de las fuentes de energía (costo de ejecución, mantenimiento, I+D, ecológico y beneficios)

“Son muchos los recursos que necesita una sociedad industrial moderna para poder subsistir”

Michael Klare “Guerra por los Recursos” pág. 50

Al presente existen opiniones encontradas sobre cuál debe ser la fuente energética que debe prevalecer, cada una de ellas posee ventajas respecto de las otras no existiendo una que realmente logre imponerse de manera rotunda por sobre el resto. Las diferencias y preferencias se realizan desde varios aspectos sea el punto de vista económico, social, ecológico, técnico y geográfico, entre otros. Detrás de todos ellos se encuentran los grupos de interés que utilizan la “maquinaria” teórica para defender sus intereses.

Lo primero que se debe tener en cuenta es la antigüedad de la tecnología utilizada para la generación de energía. La fuente nuclear como se explicó en los capítulos anteriores es relativamente novel y compleja por lo que le cuesta ganar lugar en un mundo que ya utilizaba otras fuentes. Sin embargo, no debe perderse la perspectiva histórica del crecimiento de la fuente nuclear, en sucesivos informes de la Agencia Internacional de Energía, señalan que hacia 1973 el porcentaje correspondiente a la energía nuclear era del 0,9% y en 2012 el guarismo era del 4,8%, lo que indica el mayor crecimiento dentro de las fuentes primarias de energía con un 433,33%. Este crecimiento sería levemente mayor si se tomaran los porcentajes de los años 2008 y 2009 donde la energía nuclear poseía el 5,8% de la producción mundial de energía. Sin embargo, siguen siendo porcentajes lejanos a las tres grandes fuentes fósiles dominantes.

Tabla 4 – Comparativo matriz energética mundial 1973 y 2012, según fuentes.

	1973	2012	Variación Porcentual
Biocombustible	10,5%	10,0%	-4,76%
Otros (geotermal, solar, eólica, etc.)	0,1%	1,1%	1000,0%
Hidroeléctrica	1,8%	2,4%	33,33%
Nuclear	0,9%	4,8%	433,33%
Gas Natural	16,0%	21,3%	33,13%
Petróleo	46,0%	31,4%	-31,74%
Carbón	24,6%	29%	17,89%

4.1 Carbón

El carbón ha sido siempre sinónimo de desarrollo industrial, éste tuvo un rol preponderante en el ascenso de las potencias industriales modernas para posicionarlas en los lugares de privilegio globales. Cómo se pudo ver en capítulos anteriores, la era del vapor y todos sus adelantos estuvieron íntimamente relacionados a este mineral, que nunca perdió su estatus de productor de energía. A pesar de haber cedido terreno con respecto al petróleo a partir de mediados del siglo XX, si se toman los números de la tabla 4, podemos contemplar que recobró presencia en los últimos 30 años.

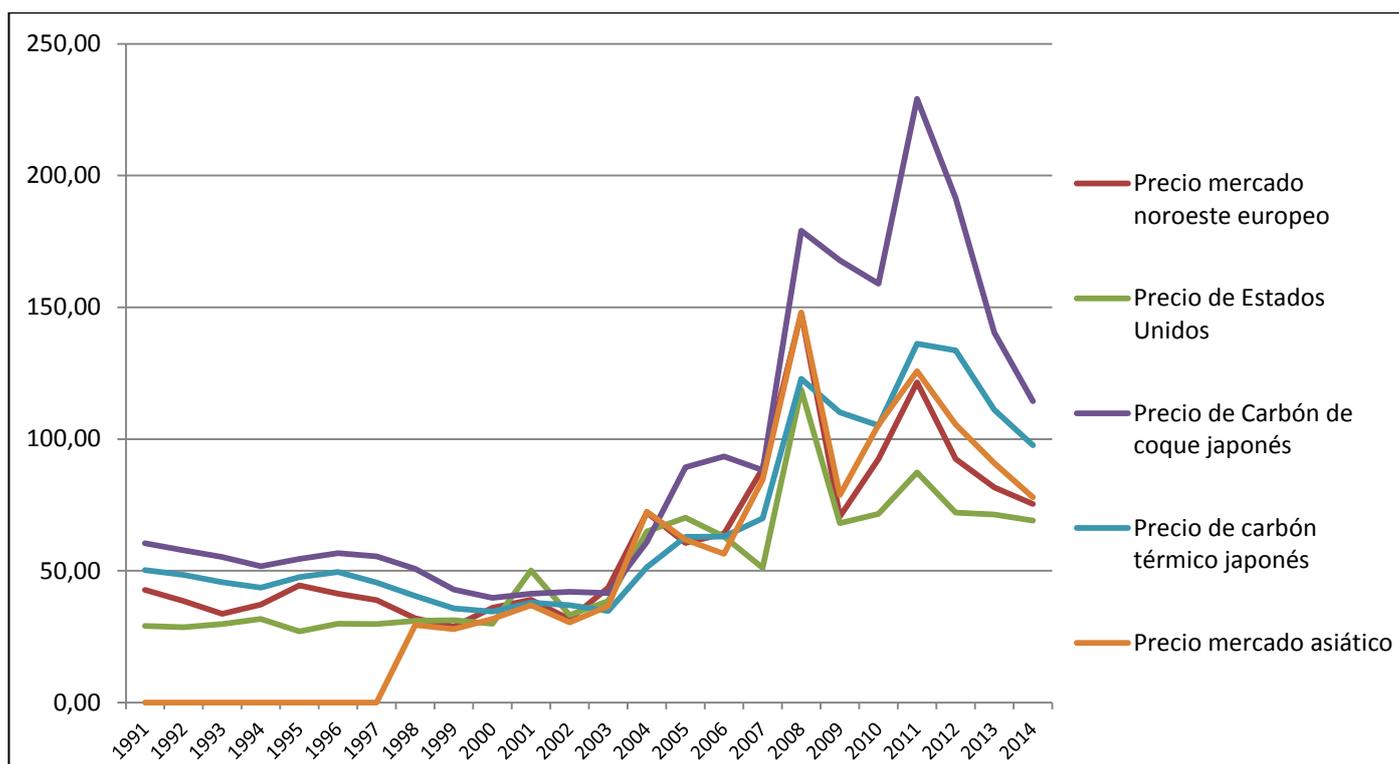
Desde el punto de vista del mineral, las reservas de carbón son bastas alrededor del mundo lo que le otorga una ventaja de carácter estratégico por sobre el petróleo. Según British Petroleum existen reservas comprobadas globales para más cantidad de años que cualquier otro combustible fósil *“Las reservas mundiales probadas de carbón en 2012 son suficientes para satisfacer 109 años de producción global, por mucho es la mayor proporción de reservas para producción de cualquier otro combustible fósil”*⁷⁰

Los precios del carbón, en todas sus variantes⁷¹, se mantuvieron relativamente estables desde mediados de la década del '80 hasta mediados de la primera década del siglo XXI cuando comenzaron a subir los precios en los distintos mercados hasta lograr el pico máximo en el año 2008, coincidente con los precios máximos alcanzados por el petróleo. Debe realizarse una aclaración aparte, los mercados japoneses mantuvieron la tendencia similar al resto de los mercados, sin embargo el valor máximo lo alcanzan en 2011, coincidiendo con el accidente de la central nuclear de Fukushima y el consecuente cambio de política energética del país, manteniendo un comportamiento diferente al resto de los mercados.

⁷⁰ Disponible en <http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/energy-economics/statistical-review-of-world-energy-2013/review-by-energy-type/coal/coal-reserves.html> (Traducción del autor)

⁷¹ Northwest Europe marker Price, US Central Appalachian coal spot price index, Japan coking coal import cif price, Japan steam coal import cif price y Asian Marker price

Gráfico 5 – Evolución del precio del carbón 1987-2014



Fuente: International Energy Agency, Key World Energy Statistics 2015. Cuadro realizado por el autor.

No sólo el carbón presenta un futuro promisorio en cuanto a la producción sino que muchos países poseen un alto porcentaje de carbón dentro de su matriz energética. Datos de la Agencia Internacional de Energía (AIE) dan cuenta que países como Sudáfrica, Polonia y China cubren un 94%, 93% y un 81% respectivamente de su matriz energética generada a través del carbón. Debe resaltarse que el volumen de consumo de China, en particular, es mucho más significativo con respecto al resto de los países. En 2012 China consumió el 47,10%⁷² de la producción mundial, con la particularidad de que alcanza el autoabastecimiento.

La AIE ubica a 10 países en los cuales el carbón representa más del 50% de la matriz energética, y en dos países de gran consumo energético como Alemania y Estados Unidos representan el 49%.

Como se citó anteriormente en la tabla 4, según datos de la AIE, en el año 2012 la participación de carbón en la producción de energía fue del 29%, de esa cifra cerca del 41% se utilizó para producir electricidad, por ende, a los fines específico de la producción eléctrica, el carbón tiene una participación dominante por sobre las otras fuentes.

⁷²Disponible en <http://www.eia.gov/countries/country-data.cfm?fips=ch> (Consultada en marzo 2014)

Esta participación tan amplia tiene una explicación “*El carbón mineral es el combustible primario más barato y más sencillo de extraer*”⁷³ posicionándolo por encima de todos sus competidores. Esto permite abarcar la gran demanda del mineral que necesitan las centrales termoeléctricas “*Consecuentemente, una planta de 1000MW requiere las siguientes toneladas de combustible anualmente: 2.600.000 toneladas de carbón anualmente, 200 vagones de tren con (1300 toneladas de carga cada uno)*”⁷⁴

Los datos previamente presentados dan una acabada imagen del carbón como un producto que resurge y tiende a colocarse como una fuente cada vez más importante. Pero más allá de los puntos positivos que surgen del análisis previo, el carbón posee varios puntos negativos, el principal es la emisión de CO₂ y otros gases de efecto invernadero que se emiten durante la producción de energía por fuente carbonífera “*La emisión de NO_x producto de la generación de energía utilizando carbón es un problema ambiental importante. El NO_x contribuye a la formación fotoquímica de smog y lluvia ácida*”⁷⁵

En la actualidad la industria carbonífera se encuentra dentro de las más contaminantes, según la AIE en 2012 el 43,9% de las 31.734 millones de toneladas de CO₂ enviadas a la atmósfera corresponden a ésta industria⁷⁶. Al momento de producir energía, el dióxido de carbono y el dióxido de azufre son elementos que los centrales carboeléctricas emiten durante el proceso de generación. La mayoría de los países avanzados utilizan mallas cargadas eléctricamente y otro tipo de filtros para depurar las emisiones aunque el filtrado no es completo. De hecho las centrales carboeléctricas están señaladas como una de las que más aportan a la emisión de gases con efecto invernadero “*dentro de los combustibles primarios el carbón mineral es que más CO₂ produce, muy superiores al petróleo o el gas natural*”⁷⁷

Según datos de la Agencia de Protección Ambiental (EPA, por sus siglas en inglés) cuando el carbón es quemado se emanan dióxido de carbono, dióxido de sulfuro, óxidos de nitrógeno y compuestos de mercurio, además se debe tener en cuenta que

⁷³ CÁRDENAS ZARDONI, Horacio y MULLER RODRIGUEZ, Ricardo “Secuestación de bióxido de carbono. ¿Ventaja estratégica para la producción de energía carboeléctrica? Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad, México, Marzo 2013, pág.3.

⁷⁴ RASHAD, S.M. “Nuclear Power and Environment Comparative Assessment of Environmental and Health Impacts of Electricity Generating Systems” Atomic Energy Authority National Center For Nuclear Safety and Radiation Control, El Cairo, 1998, pág. 293 (Traducción del autor)

⁷⁵ VISWANATHAN, B. “An Introduction to Energy Sources” National Centre For Catalysis Research Department Of Chemistry Indian Institute Of Technology, Madras, 2006, Pág. 80. (Traducción del Autor)

⁷⁶ INTERNATIONAL ENERGY AGENCY “Key World...” Op. Cit. 2014, pág. 44.

⁷⁷ CÁRDENAS ZARDONI, Horacio y MULLER RODRIGUEZ, Ricardo Op. Cit. Pág. 4.

previamente al proceso de quemado, es decir durante el ciclo de minería y procesamiento del carbón se generan otro tipo de emisiones como ser metano.⁷⁸ Esta circunstancia no hace más que afectar negativamente a todo el ciclo de la generación carboeléctrica y restringir las posibilidades a futuro en tanto y en cuanto no puedan revertir las emanaciones.

Estas emisiones forman parte de los gases que producen efecto invernadero, incluidas en la lista del Protocolo de Kyoto, adoptado por la Unión Europea (UE) en el año 2002⁷⁹, por lo que instalar centrales carboeléctricas en Europa tenía una contraposición primordial al aceptar la UE la reducción de los mismos.

Asimismo se debe sumar un factor clave en la instalación de este tipo de industrias como lo es la opinión pública. Durante las últimas décadas las sociedades, especialmente las desarrolladas, comenzaron a gestar un fuerte rechazo a las industrias contaminantes, sea cuales fueren éstas, y los Estados comenzaron a elaborar políticas públicas de distinta índole para combatir los daños ecológicos que causaban las industrias contaminantes. Por otra parte comenzaron a tener más fuerza los movimientos y hasta partidos políticos de carácter ecologista, que lograban instalar en agenda el problema de la contaminación.

He aquí el gran talón de Aquiles del carbón, aunque no el único. Las políticas públicas, en especial las europeas, comenzaron a gravar a las industrias eléctricas cuya generación expulsaban gases de efecto invernadero, haciendo más caro el valor de la electricidad generada por este tipo de fuente. Por ello, los países europeos buscan instalar usinas más eficientes *“En Europa, la tendencia de mejorar la eficiencia se refleja en el cierre de las antiguas y menos eficientes plantas térmicas de carbón, reemplazándolas por nuevas plantas térmicas”*⁸⁰

Los países en vías de desarrollo con gran cantidad de carbón a su disposición o facilidad para conseguirlo dentro de un marco de rentabilidad económica hacen de esta tecnología la más barata y eficiente por sobre cualquier otra, sin necesidad de un gran desarrollo tecnológico y/o científico. Este tipo de países no tienden a tomar en cuenta

⁷⁸ Disponible en <http://www.epa.gov/cleanenergy/energy-and-you/affect/coal.html> (Consultada en marzo 2014)

⁷⁹ Cuya idea principal fue reducir la emisión de gases de efecto invernadero en un 5% a los emitido en 1990.

⁸⁰ INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) “Power Generation from Coal, Measuring and Reporting Efficiency Performance and CO2 Emissions” IEA Publications, Paris, 2010, pág. 58 (Traducción del Autor)

los problemas de carácter ecológico, o si son tenidos en cuenta los problemas presupuestarios/tecnológicos tienen una primacía a nivel de agenda de gobierno.

Así pues, desde el punto de vista del desarrollo rápido cuya demanda de energía es perentoria (y no demasiado planificada) la generación carboeléctrica es la solución inmediata de mejor respuesta, el caso China es el más claro.

A la hora de pensar en una planta generadora de carbón se debe tener en cuenta: el grado de eficiencia y la implementación de etapas para bajar los niveles de gases de efecto invernadero que se emitan. Los nuevos generadores son más eficientes por lo que necesitan menos carbón (factor de carga) para generar una misma unidad de energía, por lo tanto emiten menos gases tóxicos para generarla. Según datos de VGB *“el promedio mundial de eficiencia en los generadores de carbón es de tan sólo el 33% consumiendo 436g de carbón por KW/h y emitiendo 1015g de CO₂ por KW/h”*⁸¹ La mayoría de los países poseen plantas generadoras antiguas por lo que la eficiencia de las mismas es bastante reducida. Las nuevas plantas requieren de un costo mucho mayor por lo cual los países en vías de desarrollo se encontraran con una limitación importante a la hora de construirlas.

Cabe aclarar que toda obra de generación eléctrica de vasto alcance depende del financiamiento externo y de las condiciones que los inversionistas exigen. Las altas tasas que se les impone a los países menos desarrollados suelen ser limitantes para la adquisición de la más moderna tecnología.

En base a todo lo explicitado anteriormente, la investigación y el desarrollo de este sector mantienen una perfecta lógica y se dirigen a la mejora de su principal defecto que es la emisión de gases de efecto invernadero. La I+D de la energía carboeléctrica se centra principalmente en dos aspectos: 1-mejorar la eficiencia de las centrales para que éstas liberen menor cantidad de gases y 2-nuevas técnicas que filtren las emisiones.

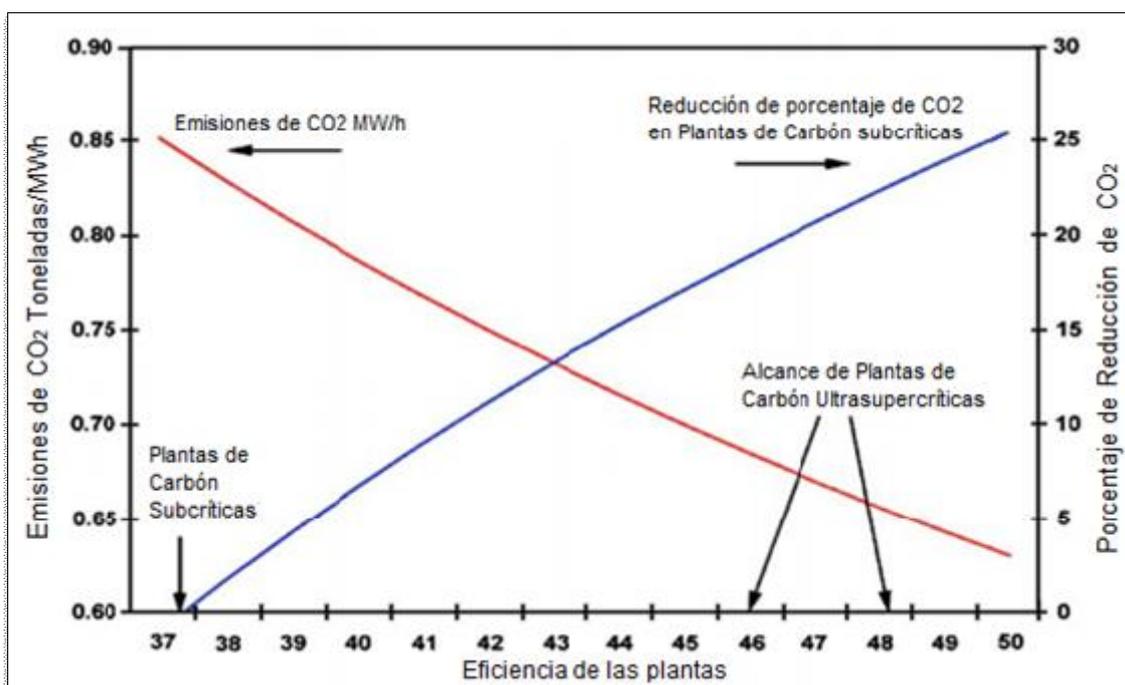
En primer lugar y con un desarrollo más avanzado se encuentran las plantas carboeléctricas con ciclos de vapor Supercríticos (SC) y Ultra-Supercríticos (USC). Esta tecnología consiste en el paso del agua al vapor supercalentado a grandes presiones (supercríticas y ultra supercríticas, de ahí el nombre de la tecnología) sin la necesidad de hervir el agua.

⁸¹ VGB Powertech “Electricity Generation: Facts and Figures 2013/2014” VGB PowerTech, Essen, 2013, pág 17.

Otro de los nuevos desarrollos es la Gasificación Integrada en Ciclo Combinado (IGCC por sus siglas en inglés) en donde el carbón es convertido en gas (gas de síntesis) para ser utilizado como combustible.

Estas nuevas tecnologías incrementan la eficiencia de los generadores (del 33% de las subcríticas al 45% de las Ultra-supercríticas, guarismo que se estima también para la IGCC) y todas reducen las emisiones de gases de efecto invernadero.

Gráfico 6 - Emisiones de Dióxido de Carbono vs. Eficiencia



Fuente: BEÉR, Janos "Higher Efficiency Power Generation Reduces Emissions" (Traducción del autor)

Estas implementaciones poseen además una gran ventaja, no es necesario construir una planta totalmente nueva para aumentar la eficiencia "*Estas mejoras pueden ser realizadas a través de reemplazos progresivos de estructuras existentes con los nuevos diseños de planta que reflejan las buenas prácticas*"⁸² siendo esto un factor favorable al momento de invertir menos para obtener un beneficio energético.

Los hechos indican que de manera sostenida se implementan y planifican nuevas plantas de tipo IGCC, SC y USC.

A pesar de la mejora en la eficiencia y la baja en los valores de emisión de gases, los mismos siguen siendo altos y poco tolerables para las legislaciones vigentes

⁸² INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) "Power Generation from Coal..." Op. cit. pág. 58 (Traducción del Autor)

tendientes a bajar la contaminación ambiental. El desarrollo tecnológico más importante dirigido a combatir este grave problema es conocido como Captura y Secuestro del Carbono (en inglés Carbon Capture and Sequestration CCS) o también Captura y Almacenaje de Carbono (Carbon Capture and Storage).

Esta tecnología, por el momento experimental, limita la emisión de carbono que generan las plantas carboeléctricas “*La secuestro de carbón, en términos muy generales, se ha definido como aquellos procesos químicos, físicos o industriales orientados a mantener el Bióxido de Carbono (CO₂) fuera de la atmósfera*”⁸³ Este proceso se concibe como una gran herramienta a favor de las plantas térmicas de carbón de cara al futuro pues transformaría a esta fuente hoy muy contaminante en una más limpia. Se estima que puede reducir las emisiones de una central carboeléctrica hasta un 85%.

Si bien la combinación de las nuevas tecnologías cambiaría sustancialmente los efectos nocivos que hoy presenta, por el momento prevalecen una serie de complicaciones que modifican los anuncios optimistas realizados por la industria carbonífera.

La tecnología no se acaba con la captura del carbono. El mismo debe ser transportado y almacenado, lo cual comienza a sumar costos que anteriormente no existían y exceden la simple implementación de un sistema de captura “*reconoce tres etapas del proceso: la primera corresponde a la captura y compresión del bióxido de carbono proveniente de plantas generadoras o fuentes industriales; la segunda corresponde al transporte del CO₂ capturado, utilizando generalmente ductos; y finalmente el almacenamiento del mismo en formaciones geológicas, tales como receptáculos salinos profundos, reservas de petróleo y gas, y en vetas de carbón mineral no susceptibles de explotación minera*”⁸⁴ Cada una de estas etapas supone costos adicionales a las plantas generadoras y por ende al precio por GW/h “*Las tecnologías de CCS incrementan los costos de capital de las plantas generadoras en un 30-100% y los costos de producción de electricidad en un 25-100%.*”⁸⁵

Este proceso presenta varios inconvenientes a resolverse, primeramente adecuar las legislaciones y los manuales de prácticas para reducir al máximo cualquier tipo de pérdida de dióxido de carbono capturado, esto significa adecuar el manejo del material

⁸³ CÁRDENAS ZARDONI, Horacio y MULLER RODRIGUEZ, Ricardo, Op. Cit. pág. 4.

⁸⁴ *Ibidem*, pág. 5.

⁸⁵ WORLD ENERGY COUNCIL “Captura y Almacenamiento de Carbono: Un Balance Provisional del WEC” World Energy Council, Londres, 2007, pág. 8.

tóxico y el transporte del mismo. El otro gran problema surge a partir del almacenaje, el debate se encuentra en la actualidad sobre dónde almacenar éstos elementos tóxicos, que comparados con los nucleares son incontablemente más voluminosos. Si bien ya se han almacenado, de manera experimental, carbono capturado en varios países, existen varias críticas sobre la seguridad de estos y los efectos contaminantes de los mismos.⁸⁶

Más allá de estas cuestiones planteadas sobre la CCS existe otro problema a resolver también importante. Las plantas que implementan la tecnología de captura necesitan de más carbón para generar igual cantidad de energía que las centrales que no la poseen, lo que significa una pérdida del rendimiento y eficiencia *“En el presente, el incremento del uso de combustibles fósiles resultante de la [utilización] del CCS podría ser tan alta como del 35% al 40%. Se espera que disminuya al 10%-30% en las plantas de la próxima generación”*⁸⁷

Las características presentadas por las nuevas tecnologías carboeléctricas parecieran no ser tan esperanzadoras pues todas poseen grandes problemas, sin embargo, la industria está confiada en la mejora de esta tecnología e invierte grandes cantidades de dinero en I+D. Se han conformado en todo el mundo grandes conglomerados para mejorar y desarrollar estas tecnologías *“Actualmente, hay unos 110 proyectos de I+D a nivel mundial.”*⁸⁸ Los proyectos son realizados por conglomerados de países industrializados de Europa, Estados Unidos y Asia. Estos proyectos no sólo quieren bajar los costos que agregan a la producción de energía, optimizar la seguridad de la operatoria y a mejorar la eficiencia que le restan a las plantas, se ocupan también de lograr comercializar el CO₂ capturado en beneficio de otras industrias para poder obtener ganancias en base a estos desechos. En éste último tema también se centran las investigaciones del CCS en donde los pronósticos más optimistas creen poder obtener grandes mercados para el carbono capturado.

De no encontrar soluciones en el mediano plazo la industria carboeléctrica junto a todos sus organismos de I+D se encontrarán frente a un “dilema moébio”: acercar una tecnología costosa y poco perjudicial para el medioambiente o una energía de bajo costo apta para países en vías de desarrollo pero altamente contaminante.

⁸⁶ La mayoría de las fuentes sobre los peligros del almacenamiento del carbono provienen de organismos ecologistas.

⁸⁷ INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) “IEA Energy Technology Essentials, CO2 Capture & Storage” pág. 1 disponible en <http://www.iea.org/techno/essentials1.pdf> (Consultada en marzo 2014)

⁸⁸ WORLD ENERGY COUNCIL Op. Cit. “Captura y Almacenamiento...” pág. 7

Un tema poco analizado tanto por parte de los detractores como de los defensores de la industria carboeléctrica, es la cantidad de muertos que provoca esta industria en todo el ciclo, desde su extracción del mineral hasta el quemado del combustible. A diferencia de otras fuentes, en la industria carbonífera se analizaron profundamente los efectos nocivos en las poblaciones cercanas y en el medioambiente.

*“Una de las razones por las que el carbón aparece de manera desfavorable, es la enorme cantidad de mineral que debe ser extraído y transportado para ser suministrado a una sola planta de energía. La minería y los múltiples manejos de tanta cantidad de material de cualquier tipo implica riesgos y esto se refleja en las estadísticas”*⁸⁹

Los accidentes en las minas de carbón, en los últimos 40 años, donde coexistían la mayoría de las fuentes de energía actuales, son exponencialmente más altos en comparación de otras fuentes de energía. La cantidad de accidentes graves relacionados a la producción de energía carboeléctrica se encuentran entre los más altos, algunas fuentes los ubican como los más altos otras señalan como más elevados a las producidas en las centrales hidroeléctrica.

Entre 1970 y 1992 la International Atomic Energy Agency (IAEA) señala un total de 6418 muerte a causa de accidentes relacionado con la industria del carbón (sin incluir los accidentes de menos de 5 muertes, que de incorporarse el valor sería 10 veces mayor) lo que le brinda un guarismo de 0,32 muertes por GW(e) anual⁹⁰. La cifra sería superior a 3.0 GW(e) anual si se tomase en cuenta los accidentes de menos de 5 muertes.

Cabe resaltar la numerosa cantidad de accidentes fatales ocurridos los años posteriores a 1992, en donde la República Popular China sufrió una enorme cantidad de muertes de mineros en diferentes minas de carbón. Al valor anterior se deben sumar 2795 muertes por accidentes más, siendo el guarismo final 9195 en 35 años (y sin sumar accidentes fatales pequeños). Tomando en cuenta que el 40% de la producción de carbón se destina a la producción de electricidad, si se aplica un promedio estricto, corresponden a la industria carboeléctrica 3678 muertes.⁹¹ Estos números son aplicados

⁸⁹ HORE-LACY, Ian “Nuclear Energy in the 21st Century” World Nuclear University Press, Londres, 2010, pág. 115. (Traducción del autor)

⁹⁰ International Atomic Energy Agency (IAEA) “Sustainable Development and Nuclear Power” disponible en <http://www.iaea.org/Publications/Booklets/Development/devseven.html>

⁹¹ Se debe tener seriamente en cuenta que las fuentes que describen los accidentes fatales en esta industria provienen de organismos relacionados a la industria nuclear, no pudiendo constatarse con números de la industria carbonífera.

a todo el ciclo del carbón, si éstos se aplican a accidentes dentro de las centrales térmicas el número se reduce drásticamente, por tanto estas estadísticas si bien son dramáticas, no exhiben un peligro real al momento de la generación eléctrica “*La mayor cantidad de accidentes en la cadena de energía fósil no ocurren en las plantas de energía, pero sí en otras etapas de la cadena. Más del 95% de las víctimas del ciclo del carbón pierden sus vidas en las minas, principalmente debido a explosiones de gas.*”⁹²

Otro tema no menor, es la cantidad de víctimas/enfermedades producto de las emisiones contaminantes y la radiación de esta industria, a la que se le atribuye un gran efecto por sobre la población lindera a las plantas termoeléctricas, así como el deterioro del ecosistema de las inmediaciones. “*A modo de comparación, de acuerdo al reporte n° 92 y n° 95 del Consejo Nacional de Protección y Medidas Radiológicas (NCRP por sus siglas en inglés), la población expuesta al funcionamiento de una planta nuclear y otra térmica de carbón, de 1000MWe de potencia, suman 490 rem/año para la planta de carbón y 4,8 para la planta nuclear*”⁹³

A pesar de tener varios problemas por resolver, no es la fuente de energía más cuestionada ni a nivel global ni a nivel nacional. El futuro de esta tecnología, a pesar de su añeja y vasta utilización, todavía está por escribirse y depende exclusivamente de los avances que se realicen en materia de eficiencia, bajo impacto ecológico y poblacional. Los recursos en I+D están destinados y se está experimentando cada vez a mayor escala. Igualmente la amplia disponibilidad de materia prima y los costos actuales de construcción de plantas de generación las convierten en una opción muy valiosa, por lo menos temporalmente, para gran cantidad de países con déficit energético, en especial aquellos que se encuentran en vías de desarrollo.

4.2 Petróleo

Cómo se pudo ver en los primeros capítulos, el petróleo tuvo variadas funciones a lo largo de la historia, no obstante el rol preponderante que comenzó a tener desde finales del siglo XIX hasta convertirse en la fuente de energía más importante de la actualidad, invistiéndola de una impronta estratégica sin igual.

⁹² BURGHER, Peter y HIRSCHBERG, Stefan “A Comparative Analysis of Accident Risks in Fossil, Hydro, and Nuclear Energy Chains” Human and Ecological Risk Assessment, vol. 14, N° 5, Londres, 2008, pág. 959 (Traducción del autor)

⁹³ GABBARD, Alex “Coal Combustion Nuclear Resource or Danger” En <http://web.ornl.gov/info/ornlreview/rev26-34/text/colmain.html> (Consultada en marzo 2014)

Es digno de destacar que casi todos los análisis de cambio que se realizan sobre la matriz energética mundial, como así también los que se efectúan en esta misma tesis son a causa de esta futura escasez de la materia prima por excelencia.

No sólo se debe ubicar al petróleo como la principal fuente de energía en la matriz mundial, sino que a diferencia de la mayoría de las fuentes de energía (con excepción del carbón) a partir de éste elemento se logran una gran cantidad de subproductos.

Los avances en la industria petroquímica permitieron que la mayoría de sus derivados (plásticos, fibras sintéticas, detergentes, abonos, etc.) estén íntimamente relacionados con el desarrollo de la vida cotidiana de la sociedad moderna.

La eclosión del petróleo en el siglo XX lo entronizó en un lugar de privilegio ubicándolo como una de las materias primas por excelencia y por tanto estratégica, por la cual se produjeron y muy posiblemente se sigan produciendo conflictos de variada intensidad a lo largo de todo el mundo.

Es digno de destacar, que la mayoría de las empresas que trabajan en el sector petrolero corresponden a los países desarrollados, y es así que apenas una minoría controla la gran mayoría de los recursos petroleros y gasíferos.

Problemática actual de los hidrocarburos

El gran dilema del petróleo se encuentra en la enorme demanda que posee, pero no es un recurso energético renovable por lo que presenta un límite temporal a su utilización, el cual por más que en el futuro nuevas tecnologías permitan prolongar su extracción, tarde o temprano se agotará. Así como el “talón de Aquiles” del carbón son las grandes emisiones contaminantes, el del petróleo es su futura escasez, lo que conllevará a una escalada en su valor (sin nombrar los conflictos bélicos que acompañarán a este proceso).

En efecto, en la actualidad el máximo desafío para el sector energético mundial es la búsqueda de alternativas al petróleo pues la matriz energética sigue siendo muy dependiente de esta fuente en un amplio porcentaje (31,4% en 2012)

El primero en plantear a nivel global el problema del agotamiento del petróleo fue el geofísico Marion King Hubbert, quien en 1956 desarrolló un modelo matemático en el cual pronosticaba que la producción de petróleo estadounidense llegaría a su cenit

en 1970 y el mundial en el año 2000 “*La curva ha sido trazada asumiendo que la tasa máxima de producción será alrededor de dos veces y media la tasa actual, ubicando la fecha del pico alrededor del año 2000*”⁹⁴

Aunque los cálculos no fueron equivocados⁹⁵, el “Pico de Hubbert”⁹⁶ no se cumplió en su totalidad según lo predicho, pues Hubbert no consideraba en sus cálculos las nuevas tecnologías de extracción, los factores políticos que impulsaron una baja en el consumo y especialmente los descubrimientos de nuevos pozos (Alaska).

La teoría de Hubbert despierta adeptos y detractores por igual, los primeros resaltan la metodología aplicada al cálculo de reservas, mientras que los segundos indican que el mismo fue errado y no sirve para su aplicación en la actualidad. Sea cual fuere la metodología de cálculo, el pico de Hubbert sigue siendo un tema central a nivel de análisis estratégico.

En base a nuevos algoritmos, que toman en cuenta los factores no contemplados por Hubbert, se extendió el cenit hacia el año 2030 según los estudios de ExxonMobil o el 2037 según ERC Holanda. Contrariamente otros organismos dedicados a la investigación del “pico del petróleo” como la asociación ASPO (inglés Association For the Study of Peak Oil & Gas) prevén el pico para la presente década, y muchos países, entre los que se encuentran el nuestro, ya han sobrepasado el mencionado cenit y se encuentra en retroceso productivo. En la siguiente tabla puede vislumbrarse los diferentes estudios y pronósticos sobre las estimaciones del pico del petróleo.

Tabla 5 – Predicciones sobre el pico de producción mundial de petróleo

Fecha Proyectada	Fuente de la Proyección
2006-2007	Bakhitari
2007-2009	Simmons
Después del 2007	Skrebowski
Antes de 2009	Deffeyes
Antes de 2010	Goodstein
Alrededor de 2010	Campbell
Después de 2010	World Energy Council
2010-2020	Laherrere
2016	EIA (nominal)

⁹⁴ HUBBERT, Marion King “Nuclear energy and the Fossil Fuels” Shell Development Company, Exploration and Production Research Division, Vol. 95, Houston. Junio 1956, pág. 22. (Traducción del autor)

⁹⁵ Pocos años después de 1970 la producción del petróleo estadounidense (de los 48 Estados inferiores, los lower 48 sobre los cuales publicó su estudio) comenzó efectivamente a disminuir.

⁹⁶ Es el término industrial que se denomina a la cima o cresta de la curva de producción ascendente, donde los costos de producción son significativamente más bajos que en la curva descendente. Modelo de Hubbert, es una adaptación de la “campana de Gauss”.

Después de 2020	CERA
2025 o posterior	Shell
No hay un pico visible	Lynch

Fuente: Peaking Of World Oil Production: Impacts, Mitigation, & Risk Management (Traducción del autor)

La problemática del pico de Hubbert, más allá si se esté de acuerdo o no con la metodología del geofísico, es que son pocos los que logran un acuerdo para ubicar temporalmente dicho pico, lo que dificulta la realización de una valoración de futuros escenarios lo más precisa posible. No pocas veces ha sucedido que las estimaciones de este método cuantitativo han quedado desactualizado a causa de los avances en tecnología exploratoria y extractiva, sumado al descubrimiento de nuevos pozos viables y/o la introducción del concepto de petróleo no convencional. Estas variables dan por resultado un constante dinamismo de la estimación realizada por los distintos autores.

Las fluctuaciones en la producción de petróleo en los distintos países hacen que las estimaciones sobre el pico sean tan disímiles que la intención de posicionarlo en el plano temporal sea casi en vano. Lo que sí es seguro es que llegado un momento será inevitable la caída en la producción y por ende las dificultades resultantes.

Una de las variables que amplían las reservas, y que ha tomado relevancia en nuestro país últimamente, es el petróleo y el gas “no convencional” conocidos en inglés como shale oil y shale gas, respectivamente. Cabe aclarar que la obtención de este producto no es nueva, de hecho es tenida en cuenta en el citado escrito de Hubbert que data de 1956. Este señala que eran explotados en Estados Unidos, aunque en cantidades no muy representativas frente al convencional.

El shale oil “*Se trata de una roca sedimentaria rica en materia orgánica, es decir, contiene cantidades significativas de material orgánico bituminoso sólido, querosene, que al ser calentado, liberado por el proceso químico de la pirolisis es petróleo*”⁹⁷ hoy se ha convertido y presentado en la gran esperanza para el futuro del petróleo. El tema debe ser tratado con cuidado pues se deben tener en cuenta gran cantidad de variables. En primer lugar la extracción del petróleo no convencional es significativamente más costosa debido a la implicancia tecnológica que requiere, ya que se deben aplicar procesos mineros para la extracción del material bituminoso para luego realizar su refinado. Este procesa da por resultado un petróleo más oneroso que el convencional.

⁹⁷ BARREIRO, Eduardo y MASARIK, Guisela “Los Reservorios No Convencionales, un “Fenómeno Global” Revista Petrotécnica Año LIII, Abril 2011, pág. 16.

En segundo lugar, la mayoría de las reservas son estimadas y no comprobadas, por lo que se requiere en la mayor parte de los supuestos yacimientos un trabajo a mediano/largo plazo para comprobarlas y de ser rentable comenzar a extraer el material bituminoso.

En tercer lugar, sólo las grandes petroleras disponen de la tecnología para la exploración, extracción y refinado de los reservorios no convencionales por lo que se genera una dependencia hacia estas empresas por parte de los países que supuestamente poseen reservas, como es el caso de nuestro país.

En cuarto lugar, uno de los procedimientos principales para obtener el mineral es la fractura hidráulica o estimulación (Fracking⁹⁸ por su nombre en inglés) de la capa subterránea donde se encuentran generando microfisuras. Dichas operaciones han originado grandes cuestionamientos por parte de sectores ecologistas *“Este proceso conlleva una serie de impactos ambientales, algunos de los cuales aún no están plenamente caracterizados o comprendidos, entre ellos contaminación de las aguas subterráneas, contaminación atmosférica, emisión de gases de efecto invernadero (metano), terremotos (sismicidad inducida), contaminación acústica e impactos paisajísticos.”*⁹⁹ Por otro lado, las fuentes a favor de la extracción del shale oil relativizan los impactos ambientales argumentados por las organizaciones ambientalistas, estas demuestran que la cantidad de agua utilizada no es representativa y que la fractura no tiene impacto sísmico alguno *“En 2011, por ejemplo, se completaron más de 250.000 etapas de estimulación hidráulica en el mundo sin que se informaran eventos sísmicos significativos.”*¹⁰⁰

A pesar de los cuestionamientos el petróleo no convencional está cada vez más estimado a nivel global y a medida que el petróleo convencional comience a ascender su precio la rentabilidad y la importancia del no convencional será aún mayor.

La explotación de shale oil no implica que a futuro reemplace a los convencionales, los pronósticos hacia 2035/2040 le dan una porción pequeña de la producción global entre 15 a 20%, tomando fuentes de la Agencia Internacional de Energía. La diferencia será que la producción del petróleo convencional sufrirá oscilaciones mientras que la correspondiente al shale oil mantendrá una línea

⁹⁸ El fracking consiste en inyectar un fluido a presión –compuesto por agua en un 95 %- y arena para apuntalar las microfisuras generadas.

⁹⁹ http://www.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/cambio_climatico/Fracking-GP_ESP.pdf (Consultada en marzo 2014)

¹⁰⁰ <http://www.shaleenargentina.org.ar/sismicidad-61#.Ux8lQYXPsdU> (Consultada en marzo 2014)

ascendente.

Más allá de las cuestiones relacionadas a las reservas existentes, el petróleo ha tomado tal relevancia en la economía mundial que se convirtió en un producto con demanda inelástica, es decir, aunque el valor aumente la variación en la demanda es mínima, manteniendo la tendencia alcista de los precios y dificultando lograr el autoequilibrio del mercado.

A partir de lo antedicho, las variaciones en los precios del petróleo causan graves percances al desarrollo de los países a nivel global, tanto en el caso de los desarrollados como de los países en vías de desarrollo, aunque por motivos diferentes.¹⁰¹

Las fluctuaciones del precio del petróleo, y por ende de sus derivados, han marcado profundos cambios en las políticas económicas y energéticas a escala global. Varios de los países productores de petróleo se encuentran en zonas conflictivas o de inestabilidad política, factor que influyó e influye enormemente en los precios del barril.

Así pues, la guerra de Yon Kippur y la crisis de Irán provocaron las crisis en la década del '70, la invasión a Kuwait y la segunda guerra del golfo modificaron los valores en los '90 y en la primera década del presente siglo respectivamente. Todas estas fluctuaciones derivaron de inestabilidades de carácter político en la región de medio oriente.

Desde el primer año del siglo XXI el petróleo mantiene una tendencia alcista. En 2001 el precio giraba en torno a 30 dólares estadounidenses el barril Brent, con los años fue tomando una lineal ascendente, con bajas circunstanciales. Un lustro después el Brent superaba los 70 dólares. Hacia finales del 2007 el precio ascendía a 90 dólares, superando la “barrera psicológica” de los 100 dólares en enero del año siguiente, y en julio de 2008 el barril superaba los 140 dólares¹⁰². La causa principal de esta escalada, radica en inestabilidades políticas de los mayores productores de petróleo del mundo, la debilidad del dólar producto de la crisis financiera que sufre Estados Unidos y la gran demanda de crudo por parte de China e India, fruto de la expansión económica.

Sin embargo, cuando se creía que el precio mantendría esta tendencia irrefrenable, el nuevo “crack” financiero mundial que provocó una contracción en los

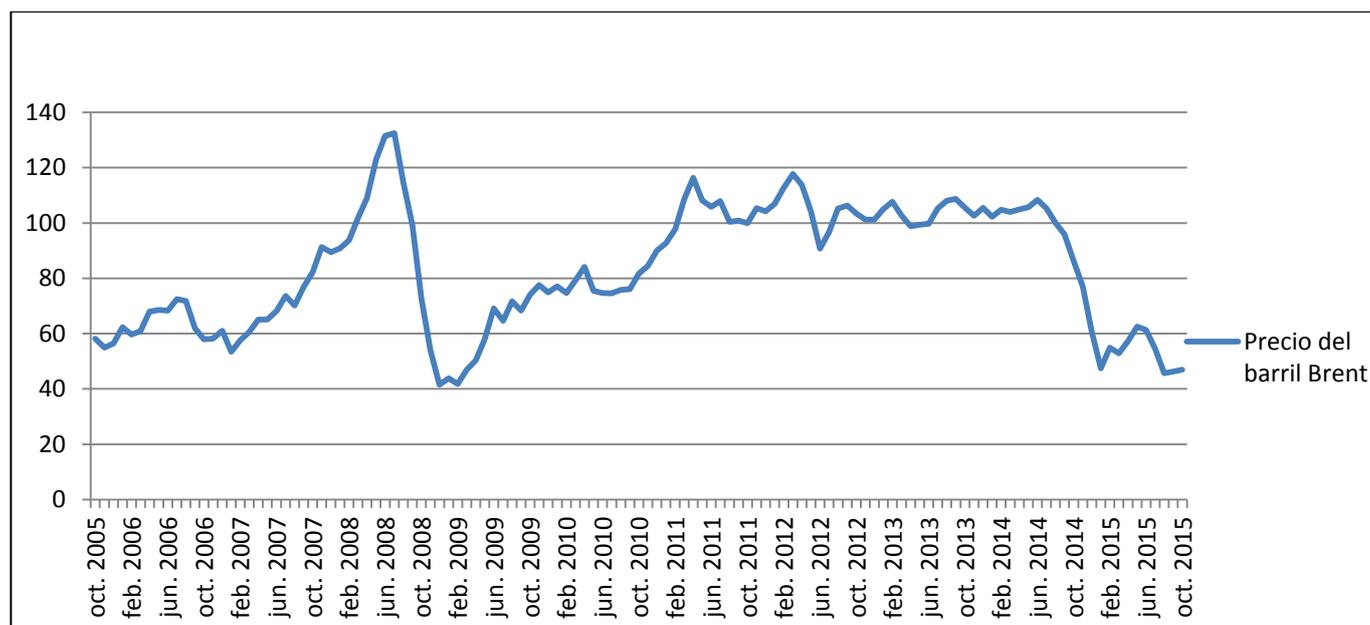
¹⁰¹ Basta con recordar la crisis del petróleo del año 1973, que produjo en muchos países la búsqueda de alternativas a la matriz energética dominada por el petróleo. Siendo las sucesivas crisis del petróleo uno de los motivos fundamentales por los que a redujo su participación a nivel global en la matriz energética del 46% en aquel año a un 31,5% del 2011 según Key World Energy Statistics 2013.

¹⁰² A modo de comparación, 10 años antes de la crisis actual, el barril Brent costaba 13,11 dólares.

mercados obligó a los países productores de petróleo a bajar el precio del producto, llegando a menos de 70 dólares en el mes de octubre, lo que significa una reducción a la mitad de su precio en menos de un trimestre. Los sucesos posteriores de la “primavera árabe” llevaron otra vez el precio del barril por sobre los 100 dólares, valor que mantuvo hasta agosto de 2014.

El último año volvió a exhibir la volatilidad del valor del petróleo. Varios factores contribuyeron al “desplome” del valor del barril, entre ellos las disputas en el seno de la OPEP por mantener la producción (postura en la que Arabia Saudita se impuso a Venezuela), el descenso en la demanda de los grandes consumidores y el ingreso de Irán a los mercados entre otros. Esta sucesión de eventos desencadenó una baja sostenida en el precio del barril que tiende a instalarse al menos hasta el 2016. Esta contracción ha sido tan fuerte que hacia fines de 2015 el valor del petróleo es inferior al de una década atrás¹⁰³.

Gráfico 7 – Evolución del precio (en US\$) del barril Brent 2005 - 2015



Fuente: <http://portalweb.sgm.gob.mx/economia/es/energeticos/precios-historicos> (Elaboración propia)

Esta última década ha demostrado ser tanto o más inestable que la del '70 en cuanto a la “susceptibilidad” del valor del petróleo. Las grandes dudas que existen sobre las reservas existentes, las comprobadas y el aporte que pueden realizar los no convencionales, convirtieron al petróleo en una fuente de energía inmersa en grandes

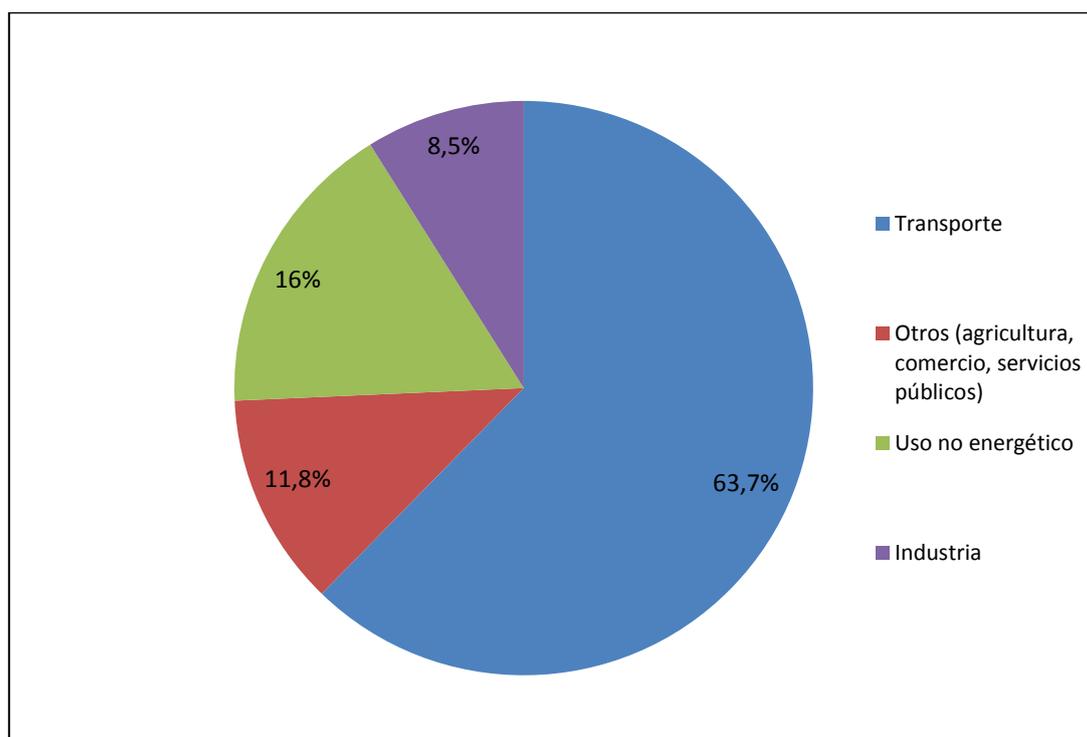
¹⁰³A finales de 2005 el valor del barril WTI y Brent era de US\$ 59 y US\$ 57 respectivamente, en noviembre de 2015 el valor del WTI es de US\$ 43 mientras que el Brent se ubica en US\$ 46.

incertidumbres.

Las sucesivas crisis han demostrado que donde el petróleo pudo ser reemplazado por otra fuente más estable. Un claro ejemplo de este cambio se puede vislumbrar en la utilización del petróleo para la producción eléctrica. Hacia 1973 los hidrocarburos representaban a nivel mundial el 24,8% de la matriz de producción eléctrica, en 2012 este guarismo descendió al 5%, representando la baja más significativa. Este espacio fue ocupado por otro tipo de fuentes, en especial el carbón, el gas, la energía hidroeléctrica y la nuclear.

La clave radica en el rol fundamental que ejerce el petróleo en varios sectores esenciales para el desarrollo donde reemplazarlo es aún más complejo. A nivel global, el transporte es el principal consumidor de los derivados del petróleo, porcentaje que con el paso del tiempo aumenta. Según el World Energy Statistic Key de 2014 en el año 2012 el 63,7%¹⁰⁴ del petróleo se destinó al transporte¹⁰⁵, contra el 45,4% del año 1973.

Gráfico 8 – Uso del Petróleo 2012



Fuente: INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) “Key World Energy Statistics 2014” (Traducción del autor)

Los derivados del petróleo como fuente de energía eléctrica se han convertido en

¹⁰⁴ INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) “Key World...” Op. Cit. 2014, pág. 33.

¹⁰⁵ Incluye transporte terrestre, aéreo y marítimo.

una opción accesible, a semejanza del carbón, desde el punto de vista de la relativa simpleza técnica y de operación, tiempo de construcción de la central, sin complejos sistemas de seguridad y accesibilidad de la fuente.

Sin embargo, estas centrales poseen el gran problema en la misma fuente de energía, la cual es requerida en grandes cantidades y con costos que fluctúan rápidamente como se pudo explicar previamente.

Así pues, el gran problema existente a nivel de generación eléctrica en esta tecnología son los altos costos de operación a causa del combustible. El bajo costo comparativo de construcción de la central eléctrica se contrapone a los costos requeridos por la constante demanda de combustible, si bien hoy no tan oneroso, menos rentable que sus competidores fósiles y más fluctuante. Por ende el bajo capital inicial se incrementa con el alto costo de operación.

Lo antedicho no representa reales problemas en los países productores de petróleo los cuales utilizan esta tecnología¹⁰⁶, pero si es un problema para los países importadores -como el nuestro- que deben asegurarse el suministro constante del combustible para mantener las usinas en funcionamiento y así poder abastecer la demanda eléctrica.

Otra cuestión digna de resaltar y no menor, debido al alto consumo de la fuente es el carácter contaminante de los hidrocarburos y sus derivados. Si bien no llega a los niveles de contaminación del carbón, a los fines de generación eléctrica no es una fuente de energía limpia bajo ningún punto de vista. Luego de los distintos tipos de carbón, el fuel oil es la fuente más contaminante emitiendo gran cantidad de gases de efecto invernadero. Según un estudio chileno sobre fuentes termoeléctricas, las centrales carboeléctricas arrojan a la atmósfera mayor cantidad de dióxidos de sulfuro, óxidos nitrosos como así también una cantidad exponencialmente mayor de “material particulado”¹⁰⁷ en comparación con las alimentadas por fuel oil.¹⁰⁸

Las centrales termoeléctricas abastecidas por derivados del petróleo, sea light fuel oil o heavy fuel oil, poseen una tasa de eficiencia a nivel global del 36,5% un porcentaje apenas superior a las tradicionales plantas de carbón y un poco por debajo de las de nueva generación. “*El promedio de eficiencia de las centrales termoeléctricas de*

¹⁰⁶ No es casualidad que la central de fuel oil de mayor capacidad se encuentre en Arabia Saudita.

¹⁰⁷ Está compuesto por ácidos, , químicos orgánicos, metales y polvo.

¹⁰⁸ GESTIÓN AMBIENTAL CONSULTORES “Análisis De Normas de Emisión para Centrales Termoeléctricas a Nivel Internacional y Propuestas para Chile” pág. 6. en http://www.sinia.cl/1292/articles-44963_ExpedienteFolio441_1055.pdf

fuel oil en los países OCDE es de 37% (en el período 2001-2005). En los países no-OCDE el promedio de eficiencia es similar con un 36%”¹⁰⁹

En cuanto a la investigación y el desarrollo de la industria petrolera, debe destacarse que abarcan todo el ciclo de los hidrocarburos, desde la exploración hasta la mejora en las buenas prácticas en la venta de los productos finales del proceso. No todos los temas de I+D son de interés en función de las hipótesis planteadas, por lo que me focalizaré especialmente en algunos.

Las diez compañías que mayor cantidad de inversión realizaron en 2011 en I+D desembolsaron 8268,2 millones de euros¹¹⁰, esta cifra es un claro indicativo de que la industria busca mantenerse encumbrada.

Una de las principales investigaciones está destinada a la búsqueda de nuevas metodologías y tecnologías de extracción en pozos cuya capacidad está declinando, a fin de poder recuperar dicha capacidad. La mayoría de los pozos explotados en la actualidad llevan varias décadas en proceso de extracción y un sinnúmero de ellos ya declina la producción. Cabe destacar que la tecnología que se utilizó al comienzo de su explotación casi no ha variado respecto de la que se implementa en su ocaso. Para comenzar a cambiar positivamente los márgenes de producción es necesario comenzar a aplicar los nuevos desarrollos creados a este fin y poder obtener la reactivación productiva *“Es preciso entonces evaluar nuevas tecnologías, tales como los registros de producción modernos, las instalaciones de superficie actualizadas, los mecanismos de levantamiento adecuados con fines específicos, o los estudios sísmicos adquiridos con la técnica de repetición, para determinar qué elementos resultan económicamente adecuados para la situación en cuestión”¹¹¹*

La posibilidad de incrementar la obtención de hidrocarburos por medios convencionales o no convencionales a fin de poder generar una capacidad extractiva mayor, es el centro de la I+D. En pos del rejuvenecimiento de los pozos, se desarrollan tecnologías relacionadas a la exploración, perforación y bombeo en aguas muy profundas, a fin de poder aumentar las reservas comercialmente viables *“Las tecnologías aplicadas hoy día se están utilizando para expandir la profundidad de los*

¹⁰⁹ INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) “Energy Efficiency Indicators for Public Electricity Production from Fossil Fuels” IEA, París, 2008, pág. 14 (Traducción del autor)

¹¹⁰ En <http://www.oilgaspost.com/2013/05/21/top-40-oil-gas-companies-investment/>

¹¹¹ AHMED, Usman “Máximo Aprovechamiento de los Campos Petroleros Maduros” en http://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/spanish04/aut04/editorial.pdf (Consultada en marzo de 2014)

campos que hace unos años eran demasiado caros para explorar”¹¹²

Otro de los puntos importantes sobre los que se centra la I+D del petróleo está relacionado al impacto ecológico de la industria, el cual abarca todo el proceso del petróleo. Uno de ellos es coincidente con el carbón y esta es la aplicación de la tecnología de captura y almacenamiento del CO₂ (CCS) en las centrales termoeléctricas de fuel oil, cuya finalidad y metodología es idéntica a las carboeléctricas.

La tecnología de CCS se encuentra en el final del ciclo del hidrocarburo, sin embargo la industria petrolera ha tenido grandes cuestionamientos a nivel ecológico en todo su proceso, desde la extracción (derrames causados por pozos terrestres o marinos), el transporte (derrames ocasionados por accidentes de buques petroleros u oleoductos). Entre los más significativos y con trascendencia mediática se pueden recordar los accidentes de los buques Exxon Valdés o el Prestige para citar a algunos de los que tuvieron gran cobertura periodística y se fijaron en la memoria colectiva.

Este tipo de accidentes generalmente no han sido directa responsabilidad de la industria petrolera pero han tenido costos altísimos a nivel económico, a causa de los punitivos que se les aplicaron. Las compañías petroleras han pagado miles de millones de dólares en concepto de reparación.

Como consecuencia de estos accidentes se vio afectado directamente el prestigio de la compañía en particular y de la industria en general. Si bien los accidentes poseen trascendencia pública, un informe de la International Maritime Organization (IMO) explica que “El 45% (unas 457.000 toneladas/año) de los aportes de petróleo al mar proveniente de barcos, procede de descargas operativas -principalmente limpieza de sentinas-, frente al 36% que representan los accidentes”¹¹³ lo que cambiaría un poco la perspectiva acerca de cuáles son los factores que mayor aporte contaminante realizan al mar.

Las plataformas petroleras suman una pesada carga a los desastres ecológicos de la industria, cada una de ellas devino en reformas profundas al diseño de las nuevas generaciones de plataformas, como así también de las buenas prácticas. Accidentes como el de Piper Alpha en 1988 y el más reciente Deepwater Horizon en 2010, tuvieron

¹¹² CHAUHAN, Richa, CANNAS, Claudio, KUMAR, Ashish “Breakthrough technology and incremental innovation in Oil and Gas Industry” pág. 16 en <http://www.iaasm.net/%5CUserFiles%5Cattach%5C201122111451343Cannas%20Richa%20Kumar.pdf> (Traducción del autor)

¹¹³ INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO) “International Shipping Facts and Figures – Information Resources on Trade, Safety, Security, Environment” Maritime Knowledge Centre, Londres, 2012, pág. 27 (Traducción del autor)

costos en vidas y ecológicos altísimos, acompañados de cuestionamientos por parte de la opinión pública.

Tampoco deben ser desestimadas las fallas ocurridas en oleoductos. Estos accidentes, acaecidos por variadas causas, provocaron gran cantidad de muertes y otro tanto en derrames de crudo, en países tan disímiles como México, Canadá, Nigeria y Estados Unidos.

Como se pudo vislumbrar ut supra, el proceso del ciclo del petróleo es, en cada una de sus etapas, sumamente riesgoso y por tanto no está libre de accidentes. Esto ha forzado a la industria a un continuo mejoramiento en las buenas prácticas, los diseños, tecnologías y regulaciones/legislaciones.

Salvo raras excepciones, los accidentes que atraen la atención pública están relacionados a los que acarrearán también daño ecológico y a gran escala. Obviamente estos sucesos que posicionaron contra la opinión pública a la industria reforzaron el esfuerzo de I+D.

En comparación con el carbón, el petróleo se encuentra por debajo de éste último en cantidad de muertes ocurridas en el ciclo del hidrocarburo “*La base de datos de PSI cuenta un total de 1870 accidentes graves para las diferentes cadenas de energía entre el período 1969-2000 [...] en un distante segundo lugar el petróleo posee el 21,2%*”¹¹⁴

Otro ámbito de aplicación del I+D se centra en la búsqueda, por medio de mapeos sísmicos 3D y 4D; como así también utilización de nuevas tecnologías destinadas a mejorar la eficiencia de la perforación.

Quiénes realizan estas tareas de I+D son las propias empresas petroleras o terceros por encargo de las mismas. Dicha industria es muy consciente de que tarde o temprano el recurso se acabará por lo que también dedican su esfuerzo a tecnologías no relacionadas a ninguna etapa del ciclo de los hidrocarburos. Un ejemplo de ello es la participación, cada vez mayor, de Industrias Metalúrgicas Pescarmona S.A. (IMPSA) en el sector nuclear.

En la actualidad, las grandes compañías también invierten en la mejora de las nuevas tecnologías limpias “*El portfolio de energía eólica de BP aumentó de 32 megavattios (MW) en funcionamiento a 432MW (785MW bruto) a finales de 2008. BP Solar tiene relaciones a largo plazo con las universidades de clase mundial e invierte*

¹¹⁴ BURGHERR, Peter y HIRSCHBERG, Stefan, Op. Cit. pág. 959 (Traducción del autor)

en programas de investigación. Shell también ha sido pionera en la Contact Image Sensor (CIS) - una nueva generación de tecnología solar."¹¹⁵

Con el mismo espíritu, la industria del petróleo trabaja en cooperación con la industria automotriz para mejorar el desempeño de los motores a combustión interna, como así también los híbridos a fin de lograr cada vez mayor eficiencia en el consumo.

De igual modo, todas las grandes compañías invierten importantes sumas de dinero en el desarrollo de los biocombustibles como posible reemplazo a futuro de los actuales y así poder mantener el poderío industrial.

Todas estas inversiones de I+D no hacen más que demostrar que la poderosa industria petrolera tiene un gran trabajo a nivel de inteligencia estratégica, pues busca seguir manteniendo su posición dominante cuando comience el declive de la producción de hidrocarburos y así poder adaptarse a los nuevos escenarios.

Los escenarios futuros con petróleo como elemento escaso pero vital para las naciones, con precios que se prevén elevados, será un caldo de cultivo para nuevas guerras por recursos, enmascaradas –o no- en intervenciones de buenos propósitos.

En resumidas cuentas, sea cual fuere el escenario futuro (conflictivo o no) la industria petrolera buscará mantenerse en una posición dominante a muy largo plazo; en la actualidad, como proveedora de materia prima energética y en el futuro, como poseedora y explotadora de los conocimientos referidos a las tecnologías renovables y/o biocombustibles.

4.3 Gas

El gas es una fuente íntimamente relacionada con el petróleo. De hecho una gran mayoría de las empresas petroleras también poseen el dominio del ciclo del gas. Con anterioridad el gas no fue muy tenido en cuenta, a pesar de ello, en las últimas décadas ha surgido como una fuente muy apreciada por ciertas características que posee.

El gas es la fuente fósil más limpia “*Según la calidad de la mezcla de gas y según el desarrollo de los aparatos quemadores, su combustión emite entre un 40 a 50% menos de CO₂ que el carbón. [...] el gas natural es un puente hacia las energías*

¹¹⁵ CHAUHAN, Richa, CANNAS, Claudio, KUMAR, Ashish Op. Cit. pág. 15 en <http://www.iaasm.net/%5CUserFiles%5Cattach%5C201122111451343Cannas%20Richa%20Kumar.pdf> (Traducción del autor)

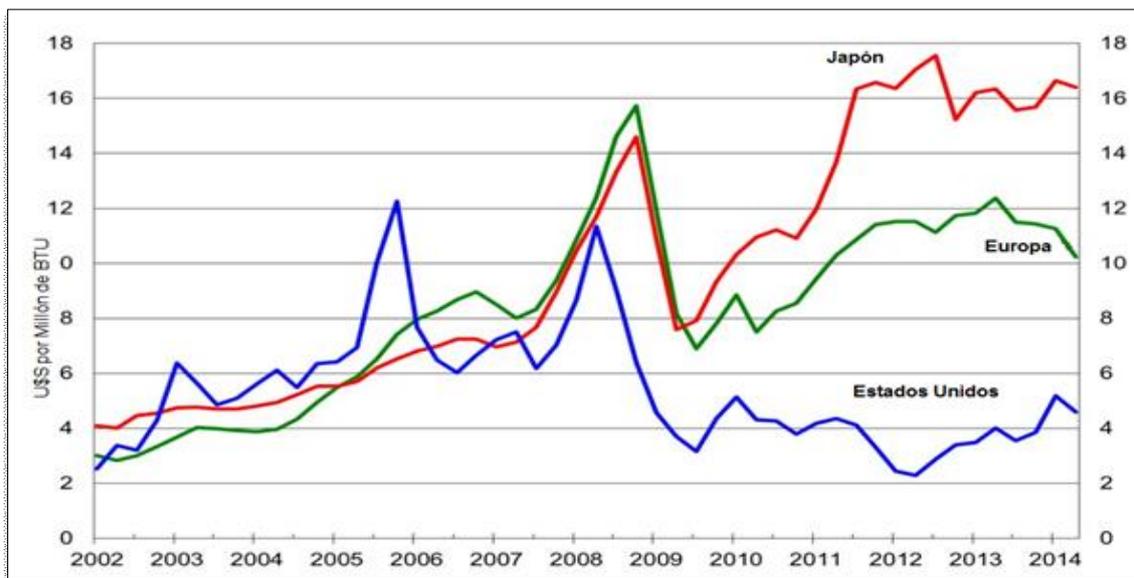
renovables y con un gran potencial de combinación con estas fuentes renovables”¹¹⁶ convirtiéndose en un elemento bastante requerido a nivel global y suplantando en varios aspectos al petróleo y al carbón.

Según el Key World Energy Statistics 2014, entre 1973 y 2012 el gas aumentó su participación en la matriz energética global un 33,1% y a nivel participación en la matriz eléctrica creció un 85,9%, lo que significa el mayor crecimiento entre las fuentes fósiles.

El precio del gas hoy vive una situación peculiar, por un lado tanto el mercado asiático como el europeo se encuentran con los precios más elevados, mientras que Estados Unidos mantiene el valor del Mmbtu¹¹⁷ sensiblemente por debajo de los 5 dólares –cercano al precio que tenía en el año 2003-.

El precio del gas evidencia un comportamiento similar al petróleo. Los diferentes tipos de petróleo (WTI y Brent como los más representativos, aunque hay otros) mantienen un comportamiento semejante, a pesar de existir diferencia entre ellos. El comportamiento del precio japonés está directamente relacionado con la suspensión de varias centrales nucleares en su matriz, lo que requirió comenzar a utilizar otras fuentes energéticas. La baja en el precio del gas en Estados Unidos corresponde al incremento sostenido en la producción que está logrando desde 2007.

Gráfico 9 – Precio del gas natural por región 2002 - 2014



Fuente: <http://www.businessinsider.com/natural-gas-price-divergence-2014-9> (Traducción del autor)

¹¹⁶ “Gas natural y sustentabilidad: Su Rol en la Mitigación del Cambio Climático” Revista Petrotécnica, Año XL, N° 5, Octubre 2009, pág. 71.

¹¹⁷ Millon Btu (British Thermal unit) es la medida utilizada para el gas.

Como toda fuente fósil, el gas tiene reservas limitadas. Sobre éstas se pueden realizar estimaciones que varían según quien realice los estudios, siempre bajo el enigma del cambio en la tecnología a medida que transcurren los años. Hacia la década del '80 se estimaba que había suficiente gas como para poco más de 40 años; en la actualidad se estipulan más de 60 años de gas. No sólo esta estimación aumentó sino que el consumo entre 1980 y 2012 se duplicó.

A nivel pragmático se puede realizar un cálculo estimado como el peor escenario pero con números reales, es decir, el consumo en el año 2014 de gas a nivel mundial fue de 3314,4 billones de metros cúbicos y las reservas probadas de gas del mismo año eran de 187.073,7 billones de metros cúbicos¹¹⁸, estos valores dan un pronóstico existencia de este combustible por más de 55 años si estimamos un consumo continuo igual al del 2014. No obstante se debe tener en cuenta varios factores. En primer lugar el shale gas no está explotado completamente y se pronostica un pico de explotación de este gas no convencional dentro de 20 a 30 años. Existen además varias reservas no comprobadas en todo el mundo pendientes de exploración y posible explotación.

Así pues, como todas las fuentes no renovables, su principal dificultad yace en la temporalidad limitada de sus reservas lo que conlleva de la inestabilidad de los precios de las reservas probadas y la variación del consumo. A nivel global la producción de gas natural aumenta casi sin retrocesos como así también su consumo. Existe poca diferencia entre uno y otro, con la sola excepción del año 2009 por motivos de la crisis.

En base a los valores del informe de British Petroleum, el consumo de gas aumentó a un promedio de 2,8% interanualmente mientras que la producción un 2,94% y estos valores son los que marcan la tendencia a estudiarse, aunque se debe tener en cuenta que al ser la fuente fósil menos contaminante se calcula que los requerimiento de explotación a futuro serán aún mayores.

Ahora bien, al igual que en relación al petróleo las discusiones sobre el pico de Hubbert del gas natural son un tema de discusión dependiendo de los modelos que se utilizan para realizar las proyecciones. Por supuesto los estudios de pronosis de los últimos años han quedado desactualizados en sus cálculos y métodos. En ellos el shale

¹¹⁸ BRITISH PETROLEUM “BP Statistical Review of World Energy Statistics 2013” BP Statistical Review of World Energy, Londres, págs. 20 y 23. En http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/statistical-review/statistical_review_of_world_energy_2013.pdf (Consultada en abril de 2014)

gas no representaba el rol que hoy día se estima y no eran tenidos en cuenta los grandes yacimientos euroasiáticos que en la actualidad dominan el mercado.

Cualquiera sea el estudio que se consulte, las reservas estimadas y el pico de producción del gas son ubicados a posteriori del petróleo. Las perspectivas de mínimas y máximas mantienen bastante distancia una de otras, sin embargo ninguna indica que en el presente se haya alcanzado el pico de producción “*La proyección estática indica que la producción mundial total de gas natural alcanzará su pico máximo entre los años 2025 y 2066*”¹¹⁹

El gas posee además una serie de características que lo destacan por sobre sus competidores fósiles, más allá de ser menos contaminante. Entre estas características podemos encontrar la facilidad para su manejo, la extracción del gas está relacionada a la explotación petrolera, en los casos en los que se realizan tareas para la exploración y explotación de ambos, los costos se vuelven más rentables. La tecnología utilizada para varios procesos relativos al petróleo y al gas son comunes por lo que termina siendo una ventaja comparativa con otras fuentes que requieren tecnologías especiales para su explotación.

El procesamiento del gas una vez que se extrae casi no requiere refinamiento (a excepción de cuando se licuifica) por lo que se evita un paso dentro del ciclo de los combustibles que encarece el producto final, a diferencia de sus principales competidores. Además posee una facilidad en el transporte, se lo traslada fácilmente por gasoductos, por camiones por medio terrestres y por medios marítimos a través de grandes buques que lo transportan licuificado.¹²⁰

Las descripciones previamente realizadas demuestran una fuente con una gran cantidad de elementos positivos, además su presencia a nivel energético abarca gran cantidad de sectores como ser el industrial, el residencial/comercial, la generación de energía e inclusive el transporte, donde hasta el momento sólo los derivados del petróleo tienen fuerte presencia.

La utilización del Gas Natural Comprimido (GNC) para el transporte es públicamente conocida a nivel nacional y regional, sin embargo a nivel global (con algunas excepciones) se conoce de forma limitada la posibilidad de utilizar el gas como elemento combustible para el transporte.

¹¹⁹ MOHR, S. H. & EVANS, G. M., “Long Term Forecasting of Natural Gas Production” 2011, pág. 17 en <https://opus.lib.uts.edu.au/bitstream/10453/18079/1/2010002701.pdf> (Traducción del autor)

¹²⁰ La licuificación del gas permite transportar 600 veces más que en estado gaseoso.

En cuanto al uso esta tecnología, nuestro país además de ser pionero en su implementación, cuantitativamente es sólo superado por Pakistán e Irán. En todos los países donde el uso del GNC está extendido, el precio del mismo es siempre inferior a los combustibles derivados del petróleo –nafta o diesel-. Otro de los puntos favorables de la utilización del GNC en los motores de combustión interna radica en la baja cantidad de emisiones. Se estima que las emisiones de monóxido de carbono son un 70% menor en comparación con la nafta, con la sola desventaja que emite pequeñas cantidades de metano *“Por su composición química el GNC no contamina el aire con hollín ni micro partículas como lo hace el diesel. También se reduce la contaminación con monóxidos de carbono, hidrocarburos sin quemar, óxido nitroso, óxido de azufre y gases del carter”*¹²¹ Por tanto un gran parque automotor que utiliza GNC reduce de forma marcada la huella de carbono.

Tabla 6 – Ranking mundial del uso de GNC para el transporte

Ranking	País	Vehículos a gas natural	Estaciones de servicio	Fecha del dato
1	Irán	3.000.000	1.960	Diciembre 2012
2	Pakistán	2.900.000	3.330	Diciembre 2012
3	Argentina	2.140.000	1.902	Octubre 2012
4	Brasil	1.739.676	1.701	Diciembre 2012
5	China	1.577.000	2.784	Diciembre 2012
6	India	1.250.000	724	Diciembre 2012
7	Italia	746.470	959	Junio 2012
8	Ucrania	390.000	324	Mayo 2012
9	Colombia	380.000	690	Diciembre 2012
10	Tailandia	358.000	470	Diciembre 2012

Fuente: International Association for Natural Gas Vehicles – IANGV – December 2012 (Traducción del autor)

El uso de este combustible ha tenido un alto crecimiento sostenido a nivel mundial, impulsado por China, incluso las grandes potencias económicas han puesto sus ojos y desarrollado de manera embrionaria un sistema de GNC. No obstante, en comparación con los combustibles derivados del petróleo no posee una gran representatividad *“El número de vehículos de gas natural y estaciones de combustible ha crecido muy fuertemente en la última década y continúa haciéndolo, aunque todavía es un nicho de mercado, desde la perspectiva del transporte (representa menos del 1%*

¹²¹ En http://www.kioshicompression.com.ar/gnc_es.asp (Consultada en octubre 2015)

del consumo de combustible de carretera del mundo) y desde los mercados de gas natural (menos de 1% de la demanda mundial de gas)”¹²²

Esto significa que a mediano/largo plazo la absorción de gran parte del mercado de naftas sea difícilmente cooptado por el GNC a nivel mundial, debido a la necesidad de instrumentar una gran infraestructura que demanda tiempo e inversiones. Para que esto suceda con mayor rapidez sería necesaria la intervención de los estados a fin de diseñar políticas públicas fomentando el cambio de paradigma.

Los grandes presupuestos dedicados a la investigación y el desarrollo de la tecnología gasífera surgen de las grandes compañías petroleras, cuya búsqueda de mejoras en estas tecnologías en muchos casos corresponden a avances en común con el petróleo. *“La I+D continuará probando que la tecnología del gas puede proveer opciones de conversión de energía, calor y transporte más eficientes, pero para que sea llevado al mercado masivo dependerá de factores económicos y de otro tipo”.*¹²³

La tecnología para la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de centrales termoeléctricas detallada previamente se aplica también al gas. Así pues, la tecnología de captura y secuestro de carbono (CCS) espera ser utilizada también en centrales termoeléctricas gasíferas las cuales obtendrán como resultado una menor emisión. Posteriormente el carbono capturado se puede comercializar a la industria petrolera para su aplicación en campos maduros.

Al igual que con el petróleo, gran parte del presupuesto dedicado al I+D en la actualidad se focaliza en el desarrollo de mejores tecnologías relacionadas a los combustibles no convencionales. Esto responde a la necesidad de ampliar las reservas comprobadas hasta el momento a fin de poder continuar con la explotación del gas. También se apuesta a renovar campos maduros, mejorar las tecnologías de transporte (gasoducto, buques de gas licuado), aumentar los rendimientos en pozos actuales y sacar provecho de los pozos profundos que en la actualidad no se presentan como rentables.

Acompañando a estos desarrollos se encuentran los avances relacionados a las tecnologías híbridas (una fuente no renovable junto con una renovable) donde el gas cumple un rol fundamental y se proyecta profundizar aún más dicha función.

¹²² NIJBOER, Michael “The Contribution of Natural Gas Vehicles to Sustainable Transport” International Energy Agency, Paris, 2010, pág. 7 en https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/natural_gas_vehicles.pdf (Traducción del autor)

¹²³ INTERNATIONAL GAS UNION (IGU) “Natural Gas Study to 2030. Enabling Solutions for Energy Demand and Environmental Challenges”2009, pág. 56 en <http://www.igu.org/html/wgc2009web/admin/archivosNew/Special%20Projects/1.%20IGU%202030%20Report/1.%20IGU%202030%20FINAL%20Report.pdf> (Traducción del autor)

Respecto de los accidentes ocurridos en torno al gas natural como al gas licuado, éstos representan el menor riesgo entre los combustibles fósiles. Ambos poseen una ocurrencia de 240 accidentes y 5964 víctimas entre 1969 y 2000¹²⁴. La mayoría de los accidentes ocurrieron durante la extracción y el transporte del gas, no hay datos sobre un gran accidente al momento de generación de energía. El mayor desastre ocurrió en el año 1989 en Rusia. Dos trenes que circulaban produjeron la ignición de una fuga en un gasoducto, resultando una gran explosión con un saldo de más de 600 muertes.

Si bien hubo otros grandes accidentes, como los depósitos de PEMEX en 1984, el gas no se ha posicionado como la fuente más peligrosa aunque su alta volatilidad durante todo el ciclo de combustible¹²⁵ lo convierten en una fuente sumamente peligrosa de manejar. En vista de la ocurrencia de accidentes, se vislumbra un manejo correcto del mismo en comparación con sus principales competidores fósiles lo cual lo posiciona con una mejor perspectiva. Se debe tener en cuenta que los países donde han ocurrido la mayoría de los accidentes graves se encuentran en vías de desarrollo, lo que demostraría menores medidas de seguridad implementadas en el ciclo del gas.

Cabe destacar que los accidentes relacionados con el gas no poseen el impacto ecológico que presenta el petróleo, a causa de este factor disminuye en gran medida su exposición y consecuentemente la influencia de la opinión pública. Los accidentes de carácter gasífero son temidos por los daños a la vida y/o materiales que puede causar y no porque sean una amenaza al medioambiente.

El futuro del gas es bastante más promisorio que sus competidores directos (carbón y petróleo). Las empresas gasíferas han tomado un rol relevante a nivel global y se espera que su participación en varios de los sectores, hasta el momento reservado al petróleo, comience a ser ocupado por el gas. Su principal ventaja se relaciona con su bajo nivel contaminante y eficiencia, lo que le otorga un panorama diferente y más alentador a futuro *“los escenarios demuestran que los factores económicos, así como los que se relacionan con el medio ambiente, deberían impulsar la demanda actual de 3 Tcm(*) a más de 4 Tcm (*) para el año 2030. Esto sucedería de crearse las condiciones favorables y asumiendo que se tomen las decisiones correctas. Sin embargo, de implementarse políticas locales más desafiantes en lo que se refiere al medio ambiente y al cambio climático, el mercado de gas podría crecer hasta casi los 4.8 Tcm, lo que*

¹²⁴ BURGHERR, Peter y HIRSCHBERG, Stefan, Op. Cit. pág. 958.

¹²⁵ A diferencia del petróleo que durante las etapas previas a su refinamiento poseen una volatilidad casi nula.

*implica una tasa de crecimiento promedio anual compuesta del 2.2 por ciento, e incrementaría la participación del gas en la matriz global de energía al 28 por ciento, siendo su actual valor del 21 por ciento.*¹²⁶

4.4 Energía Hidroeléctrica

La utilización del agua como fuente de energía se remonta a tiempos pretéritos que datan de siglos antes de Cristo, como se indicó en el capítulo 1. En aquellos tiempos se utilizaban los cauces de los ríos para generar a partir de su corriente la energía, la cual se utilizaba principalmente para la molienda. En el presente se ha diversificado el uso de las represas pudiendo cumplir diferentes fines a la vez. *“En muchos casos, el sistema hidroeléctrico puede facilitar el uso del agua para otros propósitos o proveer otros servicios como la irrigación, el control de inundaciones y/o suministro de agua más estables. También puede mejorar las condiciones de navegación, pesca, turismo o actividades de ocio”*¹²⁷

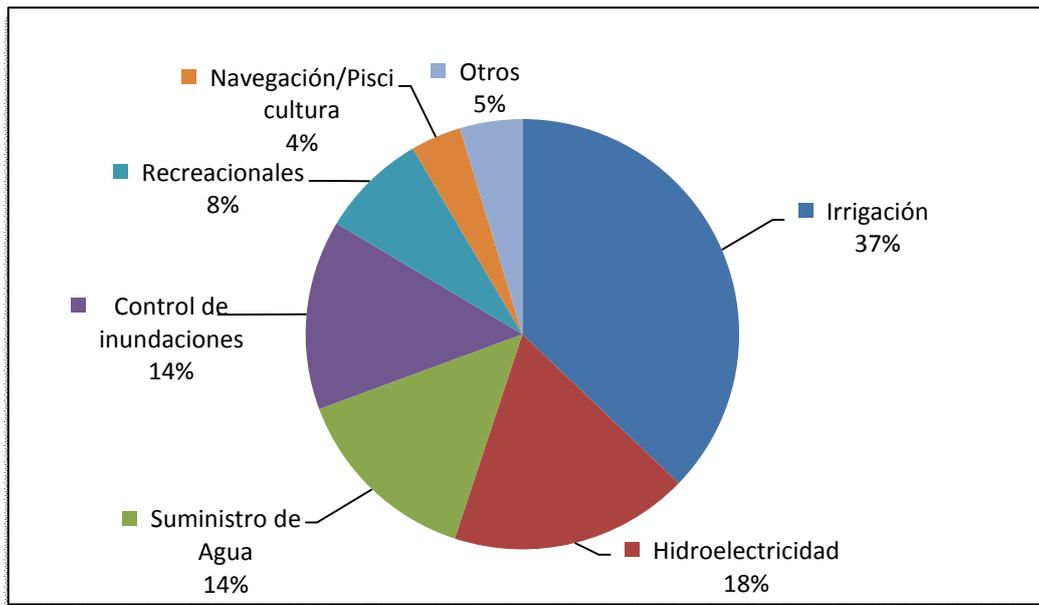
Tomando en cuenta las represas de propósito simple y las multipropósito, el resultado total evidencia una utilización primordial para el riego y en segundo lugar con fines de generación de electricidad.

¹²⁶ “El Estudio de la IGU sobre la Industria del Gas Natural al 2030” Revista Petrotecnia, Año XL, Op. Cit. Pág. 42.

¹²⁷ INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA) “Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series. Hydropower” Working Paper, Volumen 1: Power Sector, Edición 3/5, Abu Dhabi, Junio 2012, pág. 7.

(*) Trillion Cubic Meters: Trillones de metros cúbicos

Gráfico 10 – Represas por propósito



Fuente: http://www.icold-cigb.org/GB/World_register/general_synthesis.asp (2014) (cuadro realizado por el autor)

A partir del advenimiento de la electricidad como fuerza motriz se desarrollaron generadores que utilizaban agua para producirla. El concepto moderno de represa hidroeléctrica surgió a fines del siglo XIX a partir de la construcción de la primera planta hidroeléctrica en Appleton, estado de Wisconsin, en el año 1882. Las primeras represas hidroeléctricas poseían varias limitaciones: 1- la dificultad para transportar la electricidad lejos de la represa, la cual se solucionó a partir de la implementación de la corriente alterna; 2- la baja potencia de los generadores, que gracias al avance de la tecnología pudo mejorarse ampliamente y 3- la limitación geográfica que presenta este tipo de generación de energía, pues no todos los cursos de agua poseen la potencialidad para ser embalsados.

A comienzos del siglo XX se produjo un gran desarrollo de la energía hidroeléctrica y gran cantidad de países explotaron sus recursos hídricos mediante represas de baja y mediana potencia. A medida que avanzó la tecnología de construcción se incrementó la posibilidad de crear grandes espejos de agua artificiales así como utilizar turbinas generadoras de electricidad con altas prestaciones. Esto se puede vislumbrar fácticamente en la evolución de las mayores represas del mundo a través del tiempo “Luego que la represa Hoover se convirtiera, en 1936, en la mayor central hidroeléctrica del mundo con una central de 1.345 MW iniciales, fue prontamente eclipsada por los 6809 MW de la presa Grand Coulee en 1942. La represa

*Hidroeléctrica de Itaipu en Brasil-Paraguay se anunció en 1984 como la más grande del mundo, produciendo 14.000 MW, pero fue superada en 2008 por la presa de las Tres Gargantas, en China, con una capacidad de producción de 22.500 MW*¹²⁸

Varias de las limitaciones fueron subsanadas, pero la limitación geográfica se convierte en una debilidad para la utilización de dicha tecnología. Así como hay países que tienen una gran capacidad instalada de energía hidroeléctrica gracias a la explotación correcta de su potencialidad hídrica, la utilización de esta tecnología no se puede aplicar en todos los países de igual manera, ni a la misma escala.

En las regiones aptas para la construcción de represas se deben tener en cuenta una serie de factores que determinarán el tipo de represa y sistema a utilizarse. A pesar de lo que comúnmente se cree, no todas las centrales hidroeléctricas requieren de grandes espejos de agua embalsados, las centrales de pasada (run of the river) como su nombre lo indica, no los utilizan o emplean un pequeño dique.

La energía hidroeléctrica mantiene un porcentaje bajo dentro la matriz energética mundial con un 2,4% en 2012 un 33,3% más que en 1973¹²⁹ mientras que otras fuentes de energía (tanto renovables como no renovables) tuvieron un proceso de crecimiento mayor. Sobre la base misma base de datos, en la matriz de producción de electricidad a nivel global bajó directamente su participación del 21% de 1973 al 15,8% de 2011, lo que significa una baja en la participación de casi el 25%, sólo superada por el petróleo. Sin embargo debe aclararse que a pesar de haber bajado el porcentaje, la entrega a la red creció un 172%, pues hacia 1973 producía 1284,15 TW/h y en 2011 produjo 3495,91 TW/h. Esto significa que el crecimiento en la producción de electricidad no fue acompañado con la capacidad hidroeléctrica que se instaló.

Un dato no menor debe ser tenido en cuenta, según las estimaciones sólo el 33% del potencial hidroeléctrico a nivel mundial ha sido desarrollado, este hecho resulta prospectivamente alentador pues todavía hay un potencial a explotar muy importante. Se debe tener en cuenta que el desarrollo del potencial se ha concentrado en los países desarrollados mayormente, mientras que los países en desarrollo aún tienen un largo recorrido por realizar en materia hidroeléctrica *“Más del 90% del potencial hidroeléctrico disponible ya se han desarrollado en Francia, Suiza y Austria; entre el 65 al 90% - en Japón, Alemania y Suecia; del 45 al 65% - en los EE.UU., Canadá,*

¹²⁸ CARRASCO, Francesco “Introduction to Hydropower” The English Press, Nueva Delhi, 2011, pág. 30.

¹²⁹ INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) “Key World Energy Statistics 2014” Op. Cit. pág. 6.

Brasil y España; y del 20 al 45% - en China, India y Argentina. [...] África, que posee el 21% de los recursos mundiales de energía hidráulica y Asia (3%) producen sólo el 5% y 18%, respectivamente, de la energía hidroeléctrica del mundo, y América del Sur y Australia tomadas juntas con aproximadamente el 15% de los recursos, producen sólo el 11% de la energía hidroeléctrica del mundo”¹³⁰

En base a los datos provistos la energía hidroeléctrica todavía se encuentra en varias partes del mundo en un estado embrionario. Para los países en vías de desarrollo es una buena noticia la potencialidad de dicho recurso. A escala global sólo 5 países poseen cerca del 50% o más de su matriz energética dependiente de la energía hidráulica.

Tabla 7 – Países con mayor porcentaje de generación hidroeléctrica

Principales países productores	Porcentaje de hidroelectricidad en el total de generación eléctrica. (%)
Noruega	99
Brasil	83,9
Venezuela	73,4
Canadá	59
Suecia	48,8
Rusia	19
India	17,5
China	15,5
Italia	14
Francia	8
Resto del Mundo	14,3

Fuente: Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation, Cambridge, 2012.

(Traducción del autor)

Varios son los motivos por los que la producción hidroeléctrica posee un crecimiento lento. En primer lugar se debe realizar estudios profundos sobre el cauce del río, la ubicación para situar a la represa, el impacto ambiental, geográfico y poblacional que posee, como así también un estudio de financiamiento/rentabilidad de la misma. Superados todos esos estudios, que pueden demorar años, la construcción en sí de la represa y el llenado del lago artificial suman más demoras aún. El tiempo asociado a la construcción de una represa hidroeléctrica pequeña o de pasada es de cuatro a seis años mientras que una represa de gran tamaño se encuentra en torno a los

¹³⁰ TECHNOPROMEXPORT “Construction of Hydro Power Plants” Moscú, 2012, pág. 2 en http://www.tpe.ru/en/pages/press/Hydro_Eng.pdf (Traducción del autor)

10 años o más.¹³¹ Culminar la totalidad del proyecto de la presa hidroeléctrica más grande del mundo, la represa de las Tres Gargantas sita en China, demoró 17 años. Ésta se fue inaugurando por tramos.

Dentro del conjunto de las fuentes de generación renovables, la energía hidroeléctrica concentra la mayor generación de energía comparativamente.

La capacidad y flexibilidad de esta fuente le permite posicionarse fuertemente como una fuente primaria de energía así como también contribuir a cubrir los picos de demanda *“La energía hidroeléctrica está en la posición única de ser capaz de satisfacer tanto los requisitos de carga de base y como también los picos de demanda”*¹³² Generalmente las represas de pequeño tamaño o las de pasada son las que tienden a cubrir los picos de demanda eléctrica. Existen excepciones donde la gran cantidad de represas hidroeléctricas pequeñas en conjunto forman parte de la demanda base además de los picos.

Una represa con suficiente agua almacenada puede abastecer la demanda sostenida durante largos períodos de tiempo liberándose de la dependencia del ciclo comercial de los combustibles. *“Con suficiente capacidad de almacenamiento el agua que se utiliza hoy puede alternativamente utilizarse mañana. El análisis de la energía hidráulica es, por tanto, esencialmente dinámico. Esto está en contraste con un generador de combustible fósil (por ejemplo, carbón)”*¹³³

Dentro de las grandes ventajas que posee la energía hidroeléctrica por sobre cualquier otro tipo de energía se destaca el alto grado de eficiencia, de hecho es la más eficiente de todas las fuentes de energía. Las usinas hidroeléctricas poseen un coeficiente de conversión de energía superior al 90% (a excepción de la turbina cross flow cuya eficiencia es apenas superior al 80%). *“El proceso de transformación de la energía en las centrales hidroeléctricas modernas es altamente eficiente, por lo general es de más del 90% de eficiencia mecánica en las turbinas y más del 99% en el generador.”*¹³⁴ Si bien esta eficiencia depende de varios factores, la entrega máxima se encuentra el doble o el triple de las otras fuentes de energía más utilizadas, a causa de

¹³¹En <http://en.aqper.com/index.php/faq-hydro/23-how-long-to-build-run-of-the-river-hydro-plant> (Consultada en Abril de 2014)

¹³² WORLD ENERGY COUNCIL “2010 Survey of Energy Resources” World Energy Council, Londres, 2010, pág. 290 (Traducción del autor)

¹³³ FORSUND, Finn “Hydropower Economics” Springer, Nueva York, 2007, pág. 13

¹³⁴ EDENHOFER, Ottmar; PICHS MADRUGA, Ramon; SOKONA, Youba (et al) “Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation, Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change” Cambridge University Press, Cambridge, 2012, pág. 452. (Traducción del autor)

que la transformación de la energía no sufre pérdidas en forma de calor como ocurre en todas las usinas térmicas cualquiera sea su fuente.

Al momento de estimar costos de generación de energía en las centrales hidroeléctricas, éstos son bajos en primer lugar porque la fuente de energía es el agua, la cual no es un commodity, no se requiere trabajos de minería para obtenerla, ni se debe importar o exportar, ni está sujeta a valores fluctuantes *“La principal ventaja de la energía hidroeléctrica es la eliminación del coste de combustible. El costo de operación de una central hidroeléctrica es casi inmune a los aumentos en el costo de los combustibles fósiles como el petróleo, gas natural o carbón, y no se necesitan importaciones.”*¹³⁵

Los mayores costos se concentran en la construcción de la represa y lo concerniente a este proceso. En ciertas ocasiones esta etapa puede generar la reubicación de poblaciones o lugares especiales, hechos que encarecen las obras aún más.

Los costos asociados a la construcción de una represa varían según el tipo de represa, el tamaño, el impacto medioambiental que produzca como así también la ubicación de la misma, por ende sacar un costo promedio no muestra exactamente la realidad de las centrales hidroeléctricas a nivel global.

Así pues, los costos se pueden identificar sectorizadamente *“Básicamente, existen dos grandes grupos de costos para proyectos de energía hidroeléctrica: a) los costes de construcción civil, que normalmente son los principales costos del proyecto hidroeléctrico, y b) el costo de los equipos electromecánicos para la transformación de la energía. Además, los costos de inversión incluyen los costos de planificación, análisis de impacto ambiental, las licencias, [estudios de] mitigación de impacto en peces y fauna, la mitigación de la actividad recreacional, histórica y arqueológica y la vigilancia y mitigación de la calidad del agua.”*¹³⁶

Los costos previamente mencionados, extremadamente altos al principio, otorgan el beneficio de conectar a la matriz energética una central cuya durabilidad se extiende por más de 50 años libre de la dependencia de los combustibles bajo la sola amenaza de sequías graves que puedan afectar la carga útil del embalse para la generación *“Las centrales hidroeléctricas también tienden a tener vidas económicas*

¹³⁵ CARRASCO, Francesco, Op. Cit. pág. 37. (Traducción del autor)

¹³⁶ EDENHOFER, Ottmar; PICHES MADRUGA, Ramon; SOKONA, Youba (et alt) “Op. Cit. pág. 477. (Traducción del autor)

*más largas que las térmicas, con algunas plantas ahora en servicio que se construyeron hace 50 o 100 años. Los costos laborales también suelen ser bajos, ya que las plantas están automatizadas y tienen poco personal en el lugar durante el funcionamiento normal.”*¹³⁷

Sumado a los beneficios mencionados en el presente capítulo, la hidroelectricidad provee además energía libre de emisiones de CO₂, la etapa en donde este tipo de fuente produce cantidades de gases de efecto invernadero es durante su construcción por los elementos utilizados, las maquinarias, el transporte y demás elementos necesarios para realizar dichas obras en donde intervienen combustibles fósiles. Más durante la operación de la misma las emisiones son casi nulas, por lo cual la tecnología hidráulica se posiciona favorablemente frente a las políticas de mitigación de impacto ambiental y reducción de gases de efecto invernadero.

No obstante, existen estudios que indican que la hidroelectricidad no es tan limpia como se estima. En los estanques de las represas situadas en lugares tropicales algunas investigaciones arrojaron resultados alarmantes. Igualmente surgen problemas entre diversos estudios a causa de la metodología aplicada para la obtención de resultados, por lo que hasta el momento las cifras no son seguras pero sí abren un manto de dudas sobre la creencia de emisiones cuasi nulas de la energía hidroeléctrica. *“La mayoría de las estimaciones del ciclo de vida de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de grupo hidroeléctrico se encuentra entre 4 y 14 g CO₂eq/kWh, pero bajo ciertos escenarios existe la posibilidad de que se verifiquen cantidades mucho más grandes de emisiones de GEI”*¹³⁸

Más allá de que produzcan alto o bajo CO₂, los embalses sí acarrear problemas con la emisión de gases tales como el metano, un gas con mayor capacidad contaminante que el dióxido de carbono. Al igual que en los estudios realizados sobre el CO₂, los embalses de las represas tropicales están señalados como las grandes emisoras de metano, a diferencia de las que se encuentran en latitudes más frías. *“El metano (CH₄), un gas de efecto invernadero 25 veces más potente que el CO₂, está formado por bacterias que descomponen la materia orgánica de aguas con bajo contenido de oxígeno y de los sedimentos presentes en el fondo del embalse. La capa de agua que se encuentra en la parte más profunda de los embalses tropicales tiene cantidades*

¹³⁷ *Ibidem*, pág. 37 (Traducción del autor)

¹³⁸ EDENHOFER, Ottmar; PICHS MADRUGA, Ramon; SOKONA, Youba (et alt), Op. Cit. pág. 471

reducidas de oxígeno. Una porción del metano se oxida convirtiéndose en CO2 al subir a la superficie del embalse.”¹³⁹

Esta situación no difundida a nivel global y cuestionada por las metodologías utilizadas, no deja de ser un tema preocupante. Algunos estudios incluso la indican como altamente contaminante por las emisiones de metano “*Sumando las emisiones de la corriente río arriba y abajo y los vertederos de las grandes represas a nivel mundial emiten 104,3 ± 7.214Tg de metano [Unas 104 millones de Toneladas de metano], lo que representa entre el 30 al 31% del metano emitido por el hombre*” ¹⁴⁰ estas emisiones peligrosas colocan a la energía hidroeléctrica en una situación no tan ventajosa, aunque falta tiempo para obtener un estudio consensuado por un amplio abanico de académicos.

Otro de los grandes impactos que posee esta tecnología es el cambio que produce en las márgenes de los ríos cuando se embalsa el agua, los nuevos espejos de agua inundan las antiguas riberas cambiando la fisonomía al sumergir la flora circundante. En otros casos, se deben mudar asentamientos poblacionales o sitios importantes (como ocurrió con el templo de Abu Simbel, al momento de construirse la represa de Asuán). Los cambios en las costas suelen provocar resistencia por parte de los pobladores que se verán afectados por los nuevos espejos de agua.¹⁴¹

Otro de los problemas relacionado al anterior es el cambio en la fauna ictícola especialmente de las especies migratorias, proceso en el cual se interponen las represas, como así también la fauna dependiente de la flora que se vea afectada por el embalse. El caso más conocido de fauna ictícola migratoria con problemas es el canadiense donde el salmón autóctono comenzó a sufrir serios cambios a partir del crecimiento en la construcción de represas sobre su hábitat.

Los ríos con gran aporte sedimentario sufren cambios en el lecho fluvial como consecuencia de la barrera que representa la presa. La sedimentación afecta varios aspectos diferentes, si el caudal de sedimentos es grande afecta a las turbinas y los túneles. A su vez los sedimentos en suspensión tienden a acumularse en el lecho del embalse por lo que perjudica la calidad del agua en el embalse como así también aguas abajo. De no realizarse trabajos sobre los sedimentos, el embalse se colmata, con efectos

¹³⁹ INTERNATIONAL RIVERS “Represas Sucias” 2009, pág. 1 en http://www.archivochile.com/Chile_actual/patag_sin_repre/03/chact_hidroy-3%2000001.pdf

¹⁴⁰ LIMA, Iván (et al) “Methane Emissions from Large Dams as Renewable Energy Sources: A Developing Nation Perspective, Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change” 2008, pág. 9 en <http://ecologia.icb.ufmg.br/~rpcoelho/Congressos/DGL2008/Reservoirs%20GHG%20emissions/Global%20change%202008%20ok.pdf>

¹⁴¹ En nuestro país los proyectos de Paraná Medio y Corpus han suscitado gran resistencia por parte de las poblaciones vecinas que se verían afectadas por dichos emprendimientos.

negativos en el agua embalsada y en el ecosistema de la represa. Además posee a mediano plazo una afectación económica “*La colmatación de un embalse supone la clara pérdida de eficiencia por sí mismo con el correspondiente coste que afecta tanto a la rentabilidad de la inversión inicial de la propia obra hidráulica como a las cuentas [costos] de explotación*”¹⁴²

En los climas tropicales las grandes obras hidráulicas suelen ser más susceptibles a efectos perjudiciales para la salud que en los climas más fríos. Además de los efectos de los gases invernaderos ya citados, los grandes espejos de agua formados por estas obras monumentales tienden a aumentar el número de vectores de enfermedades contagiosas y dependiendo de los suelos también puede registrarse un aumento del mercurio “*En cuanto a los problemas específicos de las grandes presas, se observa que se relacionan con el agua, la mayoría con vectores de enfermedades humanas (mosquitos y otros artrópodos) que pasan alguna etapa de su vida en el medio acuático. Los padecimientos más comunes son esquistosomiasis, tripanosomiasis, oncocercosis, paludismo, fiebre amarilla, dengue, filariasis y leishmaniasis.*”¹⁴³

Cabe destacar que esto no sucede en todas las obras hidráulicas alrededor del globo. Estos efectos negativos pueden ser controlados con los cuidados paliativos correspondientes a políticas públicas tendientes a controlar los efectos adversos que pueden suscitar.

Con respecto a los accidentes de la descripta fuente energética, generalmente están relacionados a la etapa de construcción donde la cantidad de personal, la complejidad de la obra y el tipo de labores que se realizan, exponen a los trabajadores a grandes riesgos.

Una vez acabadas las obras ha habido accidentes en la operatoria de las mismas con algunas muertes por parte de operarios de la planta, como ser el caso del accidente de la presa de Guavio en Colombia en 1983 por el derrumbe de un túnel en construcción o el de Sayano–Shushenskaya en 2009 por una falla grave en una turbina¹⁴⁴. El mayor riesgo contemplado por los ingenieros al momento de la construcción es la capacidad de resistencia de la presa con respecto a los volúmenes de agua. En varias ocasiones esta

¹⁴² PALAU YBARS, Antonio “La Sedimentación en Embalses. Medidas Preventivas y Correctoras” Pág. 848 en http://www.ciccp.es/webantigua/icitema/comunicaciones/Tomo_1/T1p847.pdf (consultada en Abril de 2014)

¹⁴³ SCHORR, Thomas (et al) “Las represas y sus Efectos sobre la salud” Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, México, 1984, Pág. 90 en <http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Enero2005/CD1/pdf/spa/doc10207/doc10207-2a.pdf> (abril 2014)

¹⁴⁴ Sumados ambos casos hubo 275 muertos.

capacidad se vio sobrepasada por las grandes cantidades de agua aportada por factores meteorológicos. Estos provocaron accidentes como el de la represa Belci en Rumania o el de Hirakud en India, este último con gran cantidad de muertos.

Pero son dos accidentes los que exhiben los estragos a gran escala que pueden provocar las fallas en la seguridad y disparan la alarma sobre las consecuencias de los errores en esta fuente de energía. Estos son el de Machhu en India en el año 1979 causando la muerte de al menos 2.500¹⁴⁵ personas según algunas fuentes y 15.000¹⁴⁶ para otras. El otro grave accidente pero de dimensiones aún mayores, fue la catástrofe de la represa Banqiao en la República Popular China, ocurrido en el año 1975. Los motivos fueron similares, un tifón aportó tanta agua al caudal que sobrepasó muchas veces la capacidad de la presa quebrándose esta y otra más río abajo (la represa Shimantan). Las consecuencias fueron casi 6 millones de edificaciones arrasadas y 26.000 muertes directas mientras que se estiman otras 145.000¹⁴⁷ indirectas a causa del hambre y las enfermedades relacionadas con la catástrofe.

Al igual que con la industria carbonífera, la República Popular China posee un historial en accidentes relacionados con la energía hidráulica que eleva los promedios de accidentes mundiales relacionados con esta tecnología “Entre 1950 y 1990 ocurrieron en China 3241 fallas en represas, de las cuales 123 ocurrieron en grandes represas, un 3,8 por ciento [...] La cifra oficial de muertos a causa de fallas en represas es de 9937 muertos, sin incluir el accidente de las represas Banqiao y Shimantan”¹⁴⁸

Las investigaciones y los desarrollos tendientes a perfeccionar esta tecnología se centran en dos aspectos generales diferentes. Por un lado las mejoras en el mantenimiento, reparación y extensión de la vida útil de las presas existentes y por otro lado comenzar a utilizar nuevas tecnologías y mejores prácticas en todo el ciclo de vida de una nueva represa hidroeléctrica (desde la planificación hasta los controles de los impactos propios de la tecnología). Todas las innovaciones buscan como finalidad principal aumentar la eficiencia, reducir los costos y el impacto ambiental.

La extensión de la vida útil de las represas es un objetivo importante alcanzado especialmente en los países desarrollados. Estas tareas buscan mejorar la calidad de las

¹⁴⁵ HORE-LACY, Ian Op. Cit. pág. 116.

¹⁴⁶ WORLD BANK. “Environmental Assessment Sourcebook” World Bank Technical Paper, N° 139-140 Washington, 1991, Pág. 86.

¹⁴⁷ Datos en <http://theenergylibrary.com/node/13072>

¹⁴⁸ ELIASSON, Baldur y LEE, Yan “Integrated Assessment of Sustainable Energy Systems in China. The China Energy Technology Program” Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, 2003 Pág. 655 (Traducción del Autor)

turbinas que poseen, realizar trabajos para mitigar el efecto de la sedimentación, como así también reparaciones y mejoras en el dique.

Los nuevos avances que se aplican a las futuras represas comienzan con la utilización de tecnología de punta desde los estudios previos (en especial los de caudal, terreno, costos y posibles impactos). A fin de contrarrestar los efectos perjudiciales ya expuestos se están incluyendo respuestas ajenas a la ingeniería como ser la utilización de biólogos para control de enfermedades. *“la innovación tecnológica y la I + D se centran en tecnología de generación de velocidad variable, las técnicas de construcción de túneles más eficientes, la gestión integrada de las cuencas hidrográficas, hidrocínética, materiales resistentes a la erosión de sedimentos y el medio ambiente (por ejemplo, turbinas amigables a los peces) proporcionan la mejora continua del desempeño ambiental y, en muchos casos, los costos de reducciones”*¹⁴⁹

Otro de los aspectos a tomar en cuenta corresponde al estudio de seguridad con respecto a los accidentes previamente descriptos. Como toda obra de ingeniería de magnitud se calcula la capacidad de tolerancia de las presas por demás, pero eventos climáticos inusuales han causado fallas graves, por lo que se deben mejorar los estudios climáticos y de caudal previos y la tolerancia, como así también establecer sistemas de alerta temprana. No debe perderse de vista que se han producido 4 accidentes graves sobre 39.188¹⁵⁰ represas lo que indica una tasa de accidentes realmente baja. No obstante más allá de los porcentajes altos de seguridad tomando sólo el accidente de Banqiao, las consecuencias fueron gravísimas, por lo que no debe ser un tema a menospreciar.

Finalmente la industria hidroeléctrica posee un desarrollo dispar dependiendo de las zonas, poseyendo todavía un gran potencial de explotación. Los accidentes ocurridos no han tenido casi trascendencia pública, el mayor rechazo existente proviene de las poblaciones afectadas por las grandes construcciones. Es sin duda una tecnología que realiza un gran aporte a la matriz energética con sólidas ventajas como así también con algunas limitaciones que va a permanecer por largos períodos de tiempo como generadora de electricidad.

¹⁴⁹ INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA) Op. Cit. pág. 5.

¹⁵⁰ Cifra tomada de http://www.icold-cigb.org/GB/World_register/general_synthesis.asp (Consultada en abril de 2014)

4.5 Energía Eólica

El viento es una de las fuentes de energía más antiguas utilizadas por el hombre, como se pudo vislumbrar en el Capítulo 1 desde la antigüedad se utilizó la fuerza que produce el viento para convertirla en energía mecánica (molienda, bombeo, etc.). Durante los últimos 40 años la energía eólica comenzó a ser introducida, de a poco, como una de las nuevas formas de generación, aunque su aporte y crecimiento han sido paulatinos.

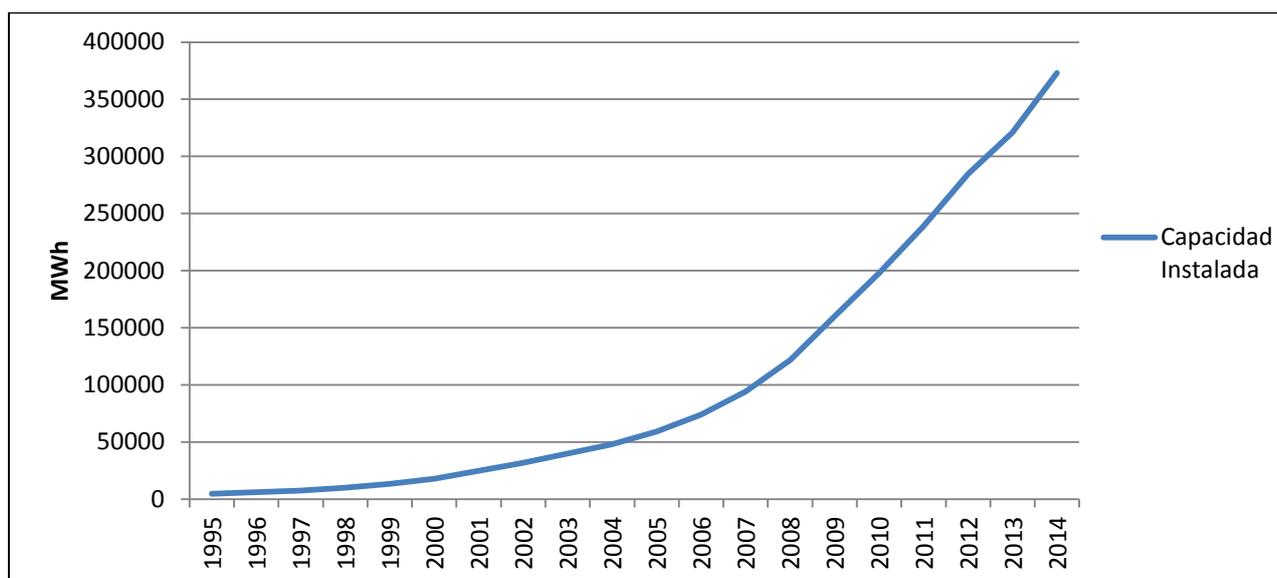
En el presente, la energía eólica aporta cada vez más energía a la matriz mundial. Varios países han logrado un crecimiento sostenido en este tipo de fuente aprovechando el potencial que poseen.

Esto es recién el principio del recorrido, todavía queda mucho por desarrollar, el potencial mundial apenas ha comenzado a usufructuarse “*El potencial teórico del viento, según las estimaciones del flujo mundial anual, ha sido estimado en 6000 Exajulios por año*”¹⁵¹

No sólo ha aumentado la capacidad instalada en molinos en tierra firme sino que en la última década han aumentado de forma considerable las granjas fuera de la costa (off shore). A pesar del importante aumento en la capacidad instalada de este tipo de energía, su peso no es representativo en la matriz energética mundial. Según datos del Key World Energy Statistics 2013 varios tipos de energía distintos (solar, geotérmica y eólica) representan el 1% del total de la matriz. Si bien en comparación con el resto de las fuentes de energía posee una representación mínima, se puede vislumbrar un crecimiento en comparación con la matriz de 1973, donde este tipo de fuentes representaban el 0,1% una cifra aún menos significativa dentro de la matriz energética. Cabe destacar que esta variación representa un aumento del 900% en 38 años.

¹⁵¹ EDENHOFER, Ottmar; PICHS MADRUGA, Ramon; SOKONA, Youba (et alt) Op. Cit. pág.543 (Traducción del autor)

Gráfico 11 – Capacidad Instalada eólica a nivel global 1994-2014



Fuente: Statistical Review of World Energy 2015 (cuadro realizado por el autor)

Estas cifras acompañan también la evolución de la tecnología eólica, “*La turbina eólica ha incrementado dramáticamente su capacidad desde los '80 (a partir de aproximadamente 75 Kw hasta 1,5 Mw y más grandes) Mientras que el costo de la energía eólica se ha reducido sustancialmente*”¹⁵²

Dentro de esta evolución que ha experimentado la energía eólica se encuentra la eficiencia de la fuente. Hace treinta años todos los elementos que conformaban el molino otorgaban un coeficiente de capacidad de carga bajo, en la actualidad ha mejorado mucho.

El gran talón de Aquiles de esta tecnología se encuentra, irónicamente, en su fuente. El viento no sopla de manera constante todo el tiempo por lo que la entrega de poder no es siempre igual. Debido a la inconstancia del viento la eficiencia de la turbina eólica es variable. Las estimaciones se ubican en un promedio entre el 40% al 50% de eficiencia máxima en la transformación del flujo en energía mecánica.

Las oscilaciones del flujo no permiten que este tipo de energía sea de base, ocupando un lugar secundario dentro de las matrices energéticas. Esto no significa que países como Dinamarca, Alemania, España, China y Estados Unidos utilicen ampliamente la energía eólica como complemento de la matriz energética nacional. Si bien China posee la mayor capacidad instalada a nivel mundial con más de 75.000 MW

¹⁵² *Ibidem*, pág. 550 (Traducción del autor)

seguida de cerca por Estados Unidos con 60.000¹⁵³, en ninguno de estos países estas cifras son representativas en la matriz energética que poseen. Ambos países se caracterizan por ser grandes productores de energía eléctrica sin embargo a pesar de su gran producción cuantitativa, proporcionalmente no se encuentran dentro de los 10 primeros países con energía eólica representativa dentro de sus matrices energéticas. Así pues, para China y Estados Unidos la capacidad instalada de energía eólica sólo representa 3,3% y el 4,4%¹⁵⁴ de sus demandantes matrices respectivamente.

Por otro lado, el país con mayor porcentaje de penetración en su matriz eléctrica es Dinamarca con el 28,5% seguido por Portugal y España con 18,8% y 18,4% respectivamente. Al igual que la energía hidroeléctrica, la energía eólica posee la ventaja de no depender de una fuente que posea un valor monetario. Esto provoca que los costos asociados a la generación de energía sean menores una vez realizada la instalación de la granja eólica. A diferencia de las fuentes de energía fósiles, donde el importe de las fuentes a lo largo del tiempo se transforma en uno de los mayores costos, la energía eólica centra sus costos en las maquinarias *“Las plantas de energía eólica son de capital intensivo y durante toda su vida, los rangos de costo inicial de inversión representan entre el 75 al 80% del total de gastos”*¹⁵⁵

Se debe hacer una aclaración muy importante, en las plantas off shore los costos son sustancialmente más onerosos, las maquinarias poseen el costo más alto. A su vez, si se lo compara con las granjas on shore, las obras de ingeniería civil, el mantenimiento y la conexión a la red son también más onerosos. La ventaja de las plantas off shore es la mayor capacidad que pueden otorgar respecto de las terrestres.

Los costos de una planta de energía eólica han disminuido en los últimos treinta años por varios motivos: En primer lugar la mayor eficiencia de las turbinas, su mayor capacidad de entrega de energía, la mejora en los materiales y en el diseño como así también en las mejoras en la construcción de granjas eólicas. Los costos varían según el país, a nivel general hacia la década del '80 el costo de la energía eólica era de más de US\$3000/Kw y en la actualidad dependiendo del país cuesta entre 1000 a 1700 dólares el Kw.

¹⁵³ Cifras de 2012 del statistical review of world energy 2013 workbook.

¹⁵⁴ Cifras disponibles en <http://www.statista.com/statistics/217804/wind-energy-penetration-by-country/> (Consultado en abril 2014)

¹⁵⁵ EDENHOFER, Ottmar; PICHES MADRUGA, Ramon; SOKONA, Youba (et al) Op. Cit. pág.583 (Traducción del autor)

Una de las grandes ventajas que posee la energía eólica es la relativa rapidez en la construcción de las mismas, especialmente de las on shore, donde se estiman promedios entre un año y medio a dos. Una vez realizados las evaluaciones pertinentes al comportamiento del viento, el paso siguiente será comenzar la instalación. Las partes de las turbinas que son prefabricadas por lo que resta la construcción de la base y el posterior ensamblado. Al ser varias las unidades dentro de una granja eólica se debe tener en cuenta que suelen encontrarse alejadas de los centros urbanos por lo que poseen una mayor carga de infraestructura en comparación con otras tecnologías como la térmica cuyas instalaciones pueden estar dentro del ejido urbano.

Las granjas off shore, requieren un trabajo mayor en todo sentido, se debe trabajar el lecho marino donde se instalarán las turbinas. La construcción de las bases es más compleja y la propia instalación, ensamblado y conexión requieren de procesos más complejas y costosos y por ende los tiempos en comparación con las granjas on shore, son más largos.

Analizando la evolución de las últimas tres décadas, se pueden evidenciar en la actualidad los frutos de largos años invertidos en I+D por empresas privadas y estatales, sin embargo la demanda energética y la buena perspectiva para este tipo de fuente requieren de mayores mejoras.

En la actualidad la investigación y el desarrollo de la energía eólica se centran específicamente en reducir los costos de instalación, en especial de las plantas off shore, como así también los de mantenimiento. Por otro lado la búsqueda de mejoras en el diseño son importantes *“Los elementos de diseño que deben ser considerados incluyen a vientos de altura, vientos bajos, rotores, transmisiones mecánicas e hidráulicas, cajas de cambios, generadores, torres y estructuras de apoyo, flotadores y sistemas de anclaje.”*¹⁵⁶

Otro de los puntos de estudio se centra en las mejora de los materiales de construcción, teniendo en cuenta la tendencia al mayor tamaño de las turbinas por lo que requieren de la aplicación de materiales más resistentes y que a su vez mantengan o aumenten la eficiencia. Por otro lado se trabaja en la búsqueda de tecnologías para evitar o controlar la formación de hielo en las plantas ubicadas en climas más extremos,

¹⁵⁶ INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) Wind “Long-Term Research And Development Needs For Wind Energy For The Time Frame 2012 To 2030” IEA, 2013, pág. 16 en http://www.ieawind.org/index_page_postings/100313/IEA%20Long%20Term%20R_D_Approved%20July%2023%202013.pdf (Traducción del autor) (Consultada en abril 2014)

puesto que el hielo afecta directamente el desempeño de la turbina y hasta puede causar severos daños en ella.

Más allá de los aspectos técnicos, la industria tiene por objetivo aumentar la aprobación de su tecnología. Si bien tiene un grado alto de aceptación en tanto que es una energía renovable y limpia, y detrás de ella se encuadran los movimientos ecologistas, posee un impacto social especialmente entre quienes viven en locaciones cercanas a las granjas eólicas. *“Las áreas de I + D deberían explorar las prácticas que afectan a la aceptación social, el costo de la energía eólica, y los impactos ambientales. Los resultados deberían ayudar a gestionar los impactos de desarrollo eólico y ayudar a las inversiones directas de investigación”*¹⁵⁷

No obstante lo expuesto, esta tecnología ostenta una enorme aceptación debido a que es una energía libre de emisiones desde el momento que comienza la generación. La mayor cantidad de emisiones proviene de la construcción de las bases para la torre, éstas no son significativas si se comparan con las provenientes de concreto utilizado para la construcción de una represa. Una vez instalada la energía eólica no emite ningún tipo de gas de efecto invernadero. Algunas fuentes indican que durante el ciclo de vida de una planta de energía eólica puede llegar a emitir hasta 81 gr. CO₂ e/Kw, *“está claro que las emisiones de la fase de fabricación dominan las emisiones globales de gases de efecto invernadero del ciclo de vida”*¹⁵⁸

Se debe considerar que las emisiones que produjeron en las etapas previas a la puesta en marcha poseen un índice de recupero rápido *“Todas las emisiones de CO₂ relacionadas a la manufactura, instalación puesta en servicio y decomiso de una turbina son generalmente “devueltas” luego de los primeros 3 a 9 meses de operación”*¹⁵⁹

Más allá del grado de emisiones que pueden imputársele a la energía eólica, lo que debe ser tenido en cuenta es el ahorro de emisiones de CO₂ que permite esta tecnología *“En muchos casos la energía eólica reemplaza a las plantas carboeléctricas, por lo que 1Kw/h de generado por el viento ahorra entre 0,8 – 1kg de dióxido de carbono”*¹⁶⁰

¹⁵⁷ INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) Wind, Op. Cit. Pág. 24 (Traducción del autor)

¹⁵⁸ EDENHOFER, Ottmar; PICHES MADRUGA, Ramon; SOKONA, Youba (et al) Op. Cit. pág.571 (Traducción del autor)

¹⁵⁹ GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL “Global Wind Energy Outlook 2012” Global Wind Energy, Bruselas, 2012, pág. 17 (Traducción del autor)

¹⁶⁰ WORLD ENERGY COUNCIL “2010 Survey...” Cit. pág. 505 (Traducción del autor)

Los impactos que posee esta tecnología no están relacionados a la cuestión de las emisiones, sino que surgen de otro tipo de demandas. La primera de ellas está relacionada con el medio ambiente, específicamente con las aves. En muchas ocasiones las granjas se encuentran en el camino de las migraciones o del recorrido usual de las aves circundantes y los murciélagos. Los estudios sobre este tema no refieren gran impacto ecológico, aunque tampoco existe demasiada literatura analítica. Igualmente los accidentes ocurridos no son usuales, las aves tienden a evitar este tipo de construcciones una vez instaladas.

Fuera de este problema ecológico, una de los mayores impactos que produce en el humano es el visual donde la implantación de granjas eólicas ocupa un gran espacio y junto a las cada vez más grandes turbinas modifican el paisaje. Esto influye tanto en las plantas on shore como en las off shore. La mayoría de los impactos negativos ocurren en las poblaciones aledañas a las granjas en donde pueden ocurrir varios tipos de problemas como reflexión de luz y/o proyección de sombras “*los desarrolladores deben ser capaces de aliviar el desorden visual o una presencia visual potencialmente abrumadora de las turbinas por medio de la agrupación de turbinas a fin de crear cortes visuales*”¹⁶¹ Del mismo modo deben buscar una uniformidad en los tamaños y color de las turbinas.

El problema del impacto visual se centra en un comportamiento meramente subjetivo, por lo que las mediciones sobre la afectación que tiene sobre una población determinada no sólo es dinámico en el mismo lugar de estudio, sino que además varía según la región. La mejor solución es la realización de un correcto estudio previo a fin de minimizar al máximo este tipo de problemas.

Otro de los impactos que provoca este tipo de energía es el auditivo, el ruido del conjunto aspas, rotor, caja eran significativos al comienzo de la implementación de la tecnología. En la actualidad el ruido proveniente de estos elementos ha disminuido considerablemente. Sin embargo, de acuerdo a la cercanía de las turbinas se producen sonidos audibles e infrasónicos. Los infrasonidos a pesar de no ser percibidos por el oído como ruido producen molestias en el ser humano, por lo que también se transforma en un problema. Según el Concejo Nacional de Investigaciones sobre salud y medicina de Australia, 10 turbinas eólicas a 350 metros producen entre 35 a 45 Decibeles, menos

¹⁶¹ UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR “Best Management Practices for Reducing Visual Impacts of Renewable Energy Facilities on BLM-Administered Lands” Bureau of Land Management, Wyoming 2013, pág. 47 (Traducción del autor)

ruido que un auto a 64km/h a 100 metros de distancia¹⁶² esto significa que no está entre los niveles de ruido molesto y en mucha menor medida cercano al umbral de dolor.

Los accidentes relacionados con la energía eólica no suelen obtener prensa tampoco han provocado una gran cantidad de víctimas. La mayoría de los accidentes han ocurrido al ejecutarse tareas de instalación y mantenimiento. Dependiendo de las fuentes consultadas las muertes relacionada con la energía eólica se encuentran entre 79¹⁶³ y 146¹⁶⁴ y los accidentes contabilizados desde 1980 hasta el 2014 son 1578¹⁶⁵. Tomando la mayor cantidad de muertes en relación con la cantidad de accidentes, la energía eólica en comparación con otras fuentes no presenta un historial peligroso muy por el contrario posee un coeficiente de fatalidades bajo.

Esta fuente limpia y renovable de energía goza de un gran potencial para ser explotada junto con una perspectiva de desarrollo futuro. Sin embargo, factores como la dependencia de una fuente natural con variaciones diarias que posee, no logran posicionar a este tipo de energía como el reemplazo ideal de las fuentes fósiles de energía, aunque sí como un sistema de apoyo sólido a la matriz energética.

4.6 Energía Solar

La energía solar se ha convertido en otra de las fuentes de energía con gran perspectiva a futuro, en especial por su condición de renovable y por la casi nula contaminación que produce una vez instalada. La fuente principal de esta forma de generación es la luz solar, la cual es captada por células fotovoltaicas que la convierten en electricidad.

El descubrimiento del potencial de la luz solar como fuente generadora de electricidad data del siglo XIX cuando Alexandre E. Becquerel creó la primera célula fotovoltaica. Luego de este descubrimiento se fueron sumando nuevos desarrollos

¹⁶² NATIONAL HEALTH AND MEDICAL RESEARCH COUNCIL “Wind Turbines and Health” 2010, pág. 2 En https://www.nhmrc.gov.au/_files_nhmrc/publications/attachments/new0048_public_statement_wind%20urbines_and_health.pdf (Traducción del autor)

¹⁶³ En http://www.wind-works.org/cms/index.php?id=43&tx_ttnews%5Btt_news%5D=414&cHash=5a7a0eb3236dd3283a3b6d8cf4cc508b (Consultada en mayo 2014)

¹⁶⁴ En <http://www.caithnesswindfarms.co.uk/accidents.pdf> (Consultada en mayo 2014)

¹⁶⁵ En <http://www.caithnesswindfarms.co.uk/fullaccidents.pdf> (Consultada en junio 2014)

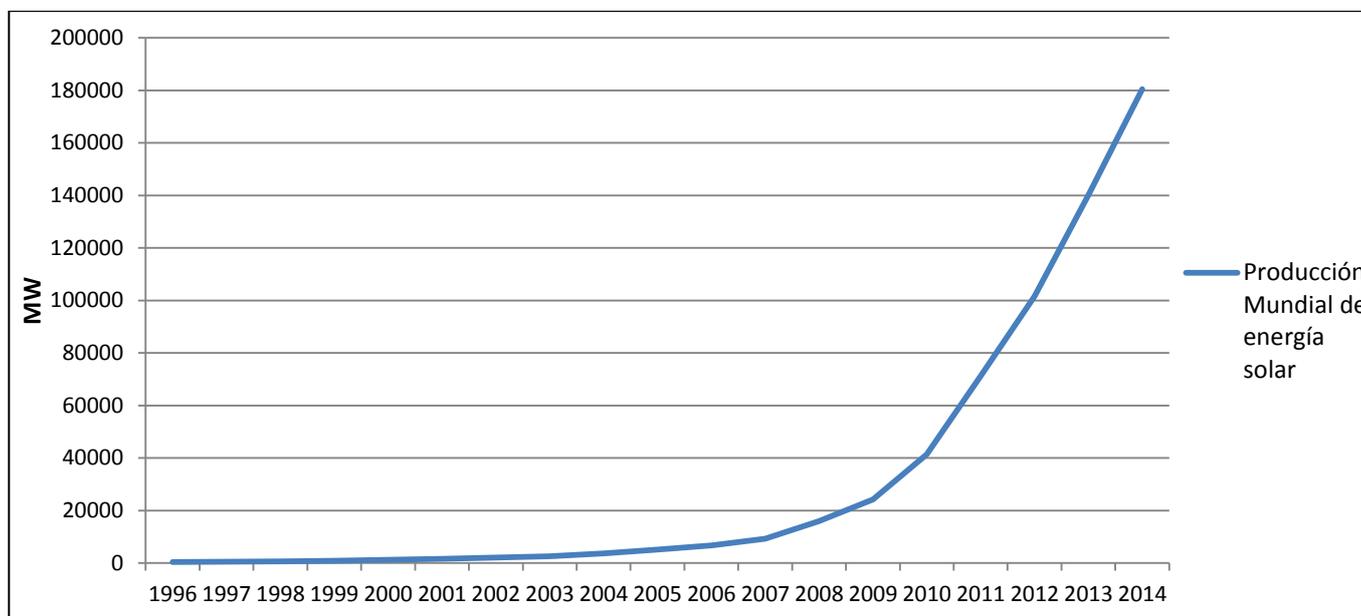
relacionados a esta tecnología, incluida la explicación teórica de este efecto por parte de Albert Einstein.

Hacia mediados del siglo XX, comenzó a desarrollarse con mayor profusión este tipo de tecnología principalmente relacionada con la carrera espacial y no como una alternativa a la generación de energía por fuente fósil “*A medida que el programa espacial progresó, las células solares de silicona se convirtieron en la ubicua fuente de energía de la mayoría de los satélites*”¹⁶⁶

A partir de los desarrollos logrados comenzaron a buscarse nuevas formas de utilización de la energía obtenida por la luz solar, pero la tecnología poseía sus limitaciones, los costos eran altos y la eficiencia muy baja (un 5%).

Al igual que la energía eólica, la energía solar ha tenido un crecimiento exponencial en los últimos 30 años, según el Statistical Review of World Energy 2015 en el año 1996 a nivel global se producían 386 Mw mientras que en el 2014 la producción era de 180.396 Mw, los números marcan por sí solos el crecimiento que tuvo esta industria estimulada especialmente por su uso en el continente europeo, el cual posee el 49% del total de la producción y el crecimiento de China de los últimos tres años.

Gráfico 12 – Producción mundial de energía solar



Fuente: Statistical Review of World Energy 2015 (Cuadro realizado por el autor)

¹⁶⁶ GRIFFIN, Phillip “Photovoltaics: Progress in Materials and Technology” University of Tennessee, 2010, pág. 1 en http://sces.phys.utk.edu/~dagotto/condensed/HW1_2010/Griffin_Solar_Cells.pdf (Traducción del autor)

La gran ventaja que posee esta energía es su fuente renovable, pero al igual que la mayoría de las fuentes renovables, depende de un elemento sobre la cual no se tiene un dominio del comportamiento y especialmente no otorga sostenidamente la energía necesaria para lograr la conversión. Lógicamente como ocurre con el agua y el viento, se realizan estudios pormenorizados sobre la incidencia de la luz solar durante el año, los días soleados que posee el territorio, lo cual convierte a este tipo de energía potencialmente ideal para las zonas de características desérticas. Aunque las condiciones con extensa exposición a la luz solar son las ideales, no se aplica esta tecnología exclusivamente a estas áreas; también se utiliza en zonas con menor concentración lumínica a los efectos de disminuir el consumo de fuentes fósiles.

La evolución y revolución tecnológica acaecida en los últimos 30 años permitió no sólo aumentar la eficiencia, sino comenzar a diseñar varios tipos de centrales solares. Entre las más comunes se encuentran el sistema de Cilindros Parabólicos, Reflectores Lineales, Receptor Central (torre) y Sistema de Discos.

En la actualidad la eficiencia de la célula fotovoltaica ascendió a nivel similares al de otras fuentes de energía (entre el 20% del Thin film hasta el 40% los paneles multijuntion) comparados con la eficiencia del 5% de los comienzos, la diferencia es notoria y mejora notablemente los costos para su aplicación. Otro de los factores que sirvió al propósito de bajar los costos fue la mejora en la durabilidad, en la actualidad las granjas solares poseen una duración superior a 25 años.

Las plantas solares de concentración en la actualidad pueden generar casi 400 Mw¹⁶⁷, lo que las convierte en una opción para suplantar las plantas alimentadas por combustibles fósiles. A fin de convertirse en una alternativa primaria para la red y no solamente un soporte, debido a las limitaciones que plantea la fuente energética, se han desarrollados a las plantas solares un respaldo alimentado por fuentes fósiles, especialmente gas natural, y disponiendo así de 24 hs. de funcionamiento.

Estas nuevas plantas combinadas a pesar de utilizar durante un tiempo fuentes fósiles están siendo tomadas como un paso intermedio para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero sin perder la ventaja de la generación continua de una planta térmica alimentada por fuentes fósiles *“Mayor eficiencia de combustible y horas de funcionamiento prolongados hacen a la planta de energía solar/fósil mucho más*

¹⁶⁷ En mayo de 2014 se inauguró una “mega planta” IVANPAH de tipo Torre en el desierto de Mojave con una capacidad de 392 Mw.

*rentable a nivel costo/eficacia que las plantas solares independientes o las fósiles de ciclo combinado*¹⁶⁸

La energía solar no solamente provee energía eléctrica sino que posee una serie de aplicaciones que la posicionan en la cima de cara a buscar reemplazos menos contaminantes. Dentro de la variedad de funciones que se pueden utilizar se encuentra la producción eléctrica en primer nivel, en menor grado se usa calefacción, enfriamiento, purificación del agua, o transporte.

Los costos de la energía solar han bajado en concordancia con todos los valores asociados a las nuevas tecnologías de las fuentes renovables. Mientras que en la década del 70 el costo era de 65 dólares el watt hacia el año 2010 el costo había descendido drásticamente a 1,4 dólares el watt. Los costos referenciados son los de los paneles fotovoltaicos, debido a la diversidad de dispositivos de captación de la actualidad los costos varían según el tipo de planta que se instale y la finalidad del mismo. En base a lo estudiado se vislumbra una tendencia a nivel general en la cual la energía solar en cualquiera de sus modalidades y finalidades ha reducido enormemente sus costos convirtiéndola cada vez más en una opción a ser tomada en cuenta para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Los gastos mayores están vinculados a la construcción de una planta y a los materiales necesarios para la transformación de la luz solar en energía. La planta de energía solar más moderna de Estados Unidos inaugurada en 2014 tuvo un costo inicial estimado de 2000 millones de dólares¹⁶⁹ El mantenimiento de las plantas solares no es costoso y no requiere de una fuente que sea un commodity (a excepción de las plantas que usan de refuerzo turbinas alimentadas por fuentes fósiles) lo que abarata aún más sus costos.

La tecnología para la generación de energía solar permite que durante su operación no emita gases de efecto invernadero. El mayor impacto ambiental dentro del ciclo de vida de una planta solar radica especialmente en la fabricación de varios de los componentes necesarios para los materiales y la instalación. *“la industria fotovoltaica utiliza algunos gases tóxicos, explosivos, gases de efecto invernadero, así como líquidos corrosivos, en sus líneas de producción. La presencia y cantidad de los materiales*

¹⁶⁸ EDENHOFER, Ottmar; PICHES MADRUGA, Ramon; SOKONA, Youba (et al) Op. Cit. pág. 369 (Traducción del autor)

¹⁶⁹ HERRERA VEGAS, Rodolfo “La Energía Solar Térmica Busca Consolidar sus Avances” Diario La Nación, Buenos Aires, 26 de Mayo de 2014, en <http://www.lanacion.com.ar/1694050-la-energia-solar-termica-busca-consolidar-sus-avances>

*dependen fuertemente del tipo de célula. Sin embargo, las necesidades intrínsecas del proceso de producción de la industria fotovoltaica obligan al uso de métodos de control muy rigurosos que reduzcan al mínimo la emisión de elementos potencialmente peligrosos durante la producción de módulos.*¹⁷⁰ Los materiales utilizados en la construcción de las plantas solares aportan también una porción de contaminantes en el ciclo de vida de este tipo de fuente energética.

Otro impacto importante es la demanda de terreno que requieren las grandes plantas solares, a modo de ejemplo la planta de Ivanpah ocupa 1300 hectáreas, lo que representa un gran impacto visual, sumado al brillo que reflejan las instalaciones.

La tasa de retorno energético en esta tecnología tiende a ser baja unos 5 meses para las plantas de receptor central y cerca de los dos años para las planta de células fotovoltaicas. Se debe tener en cuenta que los cambios en los tiempos de retorno dependen mucho de la intensidad lumínica que reciben, el tiempo de exposición y el tamaño de la planta.

La investigación y el desarrollo aplicado a esta industria han dado sus frutos sobradamente en las últimas décadas y se esperan grandes mejoras a futuro. En la actualidad se focalizan las mejoras en los materiales intentando buscar en ellos mejores rendimientos y procesos de elaboración menos contaminantes.

Los últimos avances lograron celdas ultra finas (thin film) las cuales pueden ser utilizadas en una gran variedad de funciones. El thin film posee un alto costo en comparación con la eficiencia, pero en perspectiva tienen la posibilidad de abarcar gran cantidad de diferentes mercados y funciones debido a su capacidad de adaptarse a diferentes necesidades. Este tipo de tecnología posee un potencial muy vasto el cual se encuentra en un estado embrionario, a modo de ejemplo se pueden mencionar las nanopartículas sensibles a la luz solar¹⁷¹, que permiten obtener energía solar de elementos cada vez más pequeños y modulares.

A nivel macro la I+D se centra en mejorar la eficiencia de las plantas solares en general y sus componentes principales en particular *“Las temáticas de investigación se pueden dividir entre las siguientes actividades: 1) La fabricación de las células de los concentradores solares 2) El sistema óptico 3) Montaje de módulos y métodos de*

¹⁷⁰ EDENHOFER, Ottmar; PICHES MADRUGA, Ramon; SOKONA, Youba (et alt) Op. Cit. pág. 370 (Traducción del autor)

¹⁷¹ En <http://www.rdmag.com/news/2014/06/new-nanoparticles-bring-cheaper-lighter-solar-cells-outdoors> (Consultada en mayo de 2014)

fabricación de módulos y sistemas de concentración 4) Los aspectos del sistema, como el seguimiento, los inversores y la instalación.”¹⁷²

La versatilidad de la energía solar permite que los estados perciban a este tipo de tecnología como una gran alternativa, instrumentando políticas en pos del desarrollo de ésta como así también incrementan inversiones en su utilización y en I+D.

Los desarrollos no están centralizados exclusivamente en la generación eléctrica. La I+D trata de mejorar todas las funciones para la cual se emplea la energía solar (v. gr. Calefacción, refrigeración, transporte, etc.). El caso de transporte merece una mención especial, ya han sido probados prototipos completamente solares de automóviles como así también aviones experimentales propulsados con motores alimentados sólo por células fotovoltaicas. Las aeronaves Solar Impulse y Solar Impulse II¹⁷³, distan de poseer las características y el rendimiento de los aviones comerciales, pero significan un gran avance en la búsqueda de alternativas al transporte aéreo.

La utilización intensiva de la energía solar de uso unitario aportaría mucho más que como generadora de energía en grandes plantas *“A nivel mundial, alrededor de 8 a 10 millones de edificios nuevos se construyen cada año, la mayoría de ellas en países en vías de desarrollo. Grandes áreas de estos países no tienen acceso a la electricidad de la red, por lo que la energía solar se transforma en una alternativa atractiva. Incluso si sólo una pequeña fracción de estos edificios utilizaran energía solar, las implicaciones para la industria energética y la solar podrían ser enormes*”¹⁷⁴

Las pérdidas de vidas humanas relacionadas a esta tecnología están principalmente concentradas en la colocación de paneles solares ubicados en los techos. Este proceso es el que más aporta en la medición de muertes siendo la cifra 0,44 muertes por cada TW/h.¹⁷⁵

En lo referente al impacto medioambiental, las granjas solares están llamando la atención de varios sectores por la mortandad de aves que provocan. La citada planta de Ivanpah concentra los rayos solares a altísimas temperaturas provocando graves quemaduras en animales que sobrevuelan dicha zona *“El Centro de Diversidad*

¹⁷² EDENHOFER, Ottmar; PICHES MADRUGA, Ramon; SOKONA, Youba (et alt) Op. Cit. pág. 375 y ss. (Traducción del autor)

¹⁷³ “Éxito del Vuelo Inaugural del Avión Solar Que Pretende Dar la Vuelta Al Mundo” Diario La Vanguardia, Barcelona, 2 de Junio de 2014, en <http://www.lavanguardia.com/natural/20140602/54409537290/vuelo-inaugural-avion-solar-solar-impulse-2.html>

¹⁷⁴ WORLD ENERGY COUNCIL “2010 Survey...” Cit. pág. 413. (Traducción del autor)

¹⁷⁵ En <http://nextbigfuture.com/2008/03/deaths-per-twh-for-all-energy-sources.html> (Consultada en Mayo 2014)

*Biológica estimó que posiblemente mueran 28.000 cada año por los efectos producidos por la planta.*¹⁷⁶ Este tipo de centrales al igual que las fotovoltaicas están siendo estudiadas por el impacto medioambiental que producen. Los efectos contrarios que ocasionan, todavía en proceso de estudio, han logrado transformar la percepción de sectores ecologistas, quienes generalmente las proponen como la alternativa a las fuentes más contaminantes.

De todas formas la energía solar puede significar una gran contribución a la reducción de gases de efecto invernadero si comienza a utilizarse como forma de generación de electricidad, calefacción o refrigeración en las futuras construcciones. Una utilización masiva en el futuro en las grandes edificaciones bajaría sustancialmente el consumo de electricidad producto de la generación fósil y brindaría un impulso contundente a las mejoras en esta nueva tecnología.

4.7 Otras energías renovables

Dentro del grupo de las energías renovables las previamente descritas son las más importantes y desarrolladas hasta el momento aunque no las únicas. Fuentes de energía proveniente del océano o del calor de la profundidad terrestre forman parte de sistemas que en la actualidad se utilizan escasamente a nivel global.

4.7.1 Energía oceánica

El océano puede otorgar energía de varias formas diferentes, como ser, las mareas (mareomotriz), las olas, las diferencias de salinidad o de temperatura y las corrientes. Este tipo de energía en la actualidad tiene un aporte insignificante dentro de la matriz energética mundial y muchas de sus tecnologías se encuentran en las primeras etapas de desarrollo lo que significa que a corto plazo no variará sustancialmente la capacidad instalada. Sin embargo se debe tener en cuenta que para mediados de siglo esta tecnología va a tener una madurez y representará un aporte a la disminución de gases de efecto invernadero “*Todas las tecnologías de energía oceánica, excepto las*

¹⁷⁶ En <http://www.thewildlifeneeds.com/2014/08/24/ivanpah-thermal-solar-power-plant-produces-death-rays-torching-many-birds/> (Traducción del autor) (Consultada en mayo 2014)

presas de marea, son conceptuales, están en proceso de Investigación y Desarrollo, o se encuentran en la etapa de prototipo pre comercial y demostración.”¹⁷⁷

Las presas de marea utilizadas en Corea del Sur y Francia poseen una potencia mayor de 200MW, el resto de las aplicaciones es de carácter experimental. Esta tecnología se encuentra en su fase inicial de I+D, y sobre cada una de las diferentes formas de obtener energía existe un variado abanico de tecnologías en proceso de experimentación.

Al igual que el resto de las energía renovables, estas tecnologías no pueden ser localizadas en cualquier sitio sino que requieren de características específicas como ser amplitud entre bajamar y pleamar, grandes diferencias térmicas o de salinidad de las aguas, fuertes corrientes marinas cercanas a la costa u oleajes constantes.

La obtención de energía por esta fuente requiere de una inversión de capital inicial muy alta lo cual lo convierte en su principal desventaja, sin embargo se debe tener en cuenta que todas estas tecnologías al ser de carácter experimental mantienen altos los costos. Del mismo modo son altos los costos de instalación y mantenimiento. La tecnología se encuentra en estado embrionario, por ende, a medida que se avance con la investigación y el desarrollo los costos de producción, instalación y mantenimiento comenzarán a reducirse sustancialmente, al igual que sucedió con la energía eólica y solar.

La tecnología oceánica opera de forma limpia y no emiten gases de efecto invernadero. Como en casi todas las energías renovables la emisión se concentra específicamente en la fabricación e instalación. Se estima una duración mayor a 25 años aunque en ciertos casos es muy prematuro evaluar el ciclo de vida de alguno de los desarrollos que se están implementando “*Los proyectos de energía oceánica pueden tener una duración de más de 25 años en general y más de 100 años para las presas de marea*”¹⁷⁸

Una de las grandes ventajas que poseen estas tecnologías por sobre otras fuentes renovables es la mayor predictibilidad, el estudio del comportamiento oceánico se encuentra en un estadio más avanzado que el resto de las otras fuentes renovables, remontándose su estudio varios siglos atrás.

¹⁷⁷ EDENHOFER, Ottmar; PICHES MADRUGA, Ramon; SOKONA, Youba (et alt) Op. Cit. Pág. 503. (Traducción del autor)

¹⁷⁸ EDENHOFER, Ottmar; PICHES MADRUGA, Ramon; SOKONA, Youba (et alt) Op. Cit. Pág. 518. (Traducción del autor)

Uno de los principales temas de estudio de las diversas tecnologías se centra en los impactos ambientales, los cuales están siendo evaluados en la actualidad. La principal preocupación radica en la afectación que pueden causar a la fauna marina. Dentro del orden del impacto social, éste se reduce a impactos visuales o a una reducción de acceso marítimo en ciertas zonas donde se construyen las centrales.

Es prematuro hacer una evaluación profunda de este tipo de energía por encontrarse en las etapas preliminares, sólo una de la variedad de tecnologías en fase de desarrollo está en funciones con aplicación comercial por lo que restan décadas para realizar un correcto pronóstico, no obstante no se debe perder de vista la gran potencialidad de los desarrollos.

Una gran oportunidad para este tipo de generación radica en los diferentes tipos de tecnología oceánica que se pueden aplicar a los diversos tipos de costa lo que permite a una gran variedad de regiones que poseen costas poner en funcionamiento, a futuro, este tipo de fuente energética.

Gráfico 13 – Mapamundi potencial energía oceánica (olas) en KW por metro



Fuente: En <http://montaraventures.com/energy/?cat=5&paged=2>

4.7.2 Energía geotérmica

Como su nombre lo indica esta fuente de energía utiliza el calor proveniente del interior terrestre. La obtención de calor y electricidad por este medio no es de nueva data de milenios atrás. A modo de ejemplo, en Pompeya los romanos utilizaban las aguas termales como calefacción además de abastecerse de agua caliente. En cuanto a la

generación eléctrica ya desde las primeras décadas del siglo XX se utilizaba la energía geotérmica.

Existen en la actualidad varios métodos distintos para obtener energía a partir de esta fuente, estas pueden ser Piedras Calientes Secas, Recursos Hidrotermales Convectivos, de Vapor Seco y de Vapor Húmedo. Cada una de estas tecnologías utiliza de diferentes formas el calor generado en las capas inferiores de la corteza terrestre. Las plantas de energía geotermal poseen una potencia que se encuentra entre los 20 a los 110 MW de potencia.

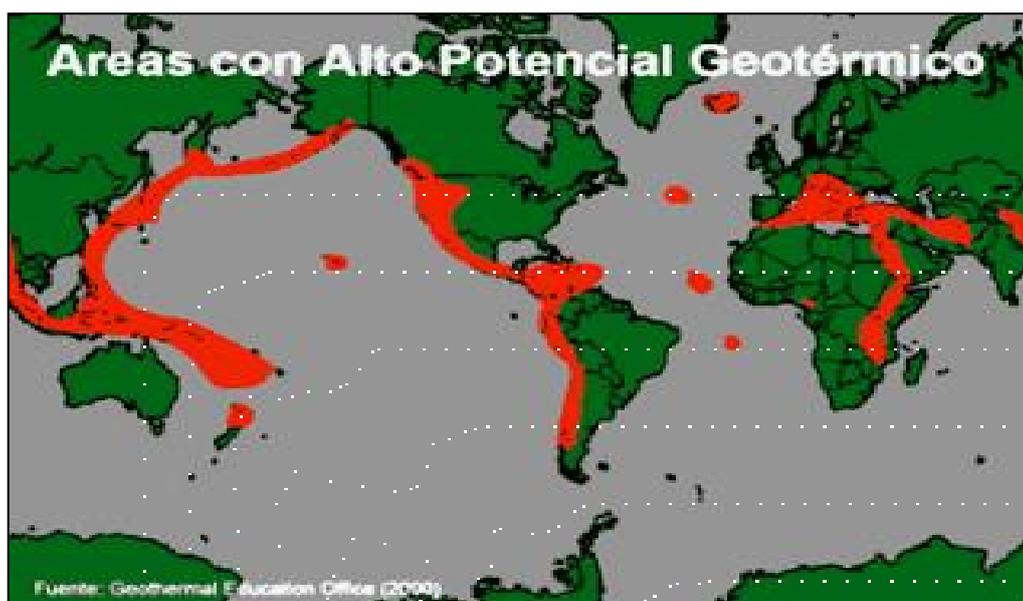
Son dos las utilidades principales de esta fuente de energía, la utilización del calor directamente por una parte y la generación eléctrica por medio de la utilización del vapor por la otra. *“A fines de 2008, la capacidad instalada de generación eléctrica geotérmica era de aproximadamente 10.700 MW, la producción fue de más de 63 000 GWh / año. La capacidad instalada para la utilización del calor directo ascendió a unos 50 000 MWt, con una producción anual de alrededor de 430 000 TJ (equivalente a cerca de 120 000 GWh).”*¹⁷⁹ La producción total a principio de la década del 90 era de apenas 5.861¹⁸⁰ MW lo que demuestra el gran crecimiento que tuvo esta tecnología aunque no es representativo a nivel global frente a las otras fuentes de energía, incluso en comparación con otras fuentes renovables “jóvenes”.

Por las condiciones propias del comportamiento térmico no todo el calor de las capas inferiores puede ser utilizado como energía geotérmica y deben darse ciertas condiciones especiales para poder aplicar esta tecnología, existiendo áreas con gran potencial geotérmico en los cinco continentes.

¹⁷⁹ WORLD ENERGY COUNCIL “2010 Survey...” Cit. pág. 459. (Traducción del autor)

¹⁸⁰ BRITISH PETROLEUM BP Statistical Review of World Energy June 2015.

Gráfico 14 – Mapamundi de áreas de potencial geotérmico



Fuente: http://fbblueplanet.blogspot.com.ar/2011_06_01_archive.html#.VBXCmfSyHg

“Si bien en la Argentina existen más de trescientos puntos de interés geotérmico, en solo cuatro de ellos podría generarse energía eléctrica con este recurso, a saber: Copahue (Neuquén), Domuyo (Neuquén), Tuzgle (Jujuy) y Valle del Cura (San Juan)”¹⁸¹

El país con mayor capacidad instalada de energía geotermal es Estados Unidos 3.525 MW, seguido por Filipinas e Indonesia con 1.917 y 1.401 MW respectivamente. Cabe destacar que estos dos últimos países se encuentran en el Cinturón de Fuego del Océano Pacífico, una zona donde la energía geotérmica tiene un altísimo potencial.

Al presente esta tecnología es costosa pues requiere de procesos similares a otras fuentes (exploración, perforación, estudio de viabilidad) aunque la metodología no es completamente la misma.

No es una energía contaminante y no posee los problemas de otras energías renovables que dependen de volúmenes de viento y luz solar para la generación, cuya inconstancia no otorga la posibilidad de ser fuentes de base.

A nivel costos la energía geotérmica tiende a ser competitiva, requiere de una alta inversión inicial y un costo medio de mantenimiento y operación, a favor se destaca la falta de necesidad de un combustibles-commodities susceptible a los cambios políticos-económicos y/o fuertes regulaciones como ocurre con otras fuentes de energía.

¹⁸¹ SECRETARIA DE ENERGÍA “Energía Geotérmica” 2010, pág. 12 en http://www.energia.gov.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/contenidos_didacticos/publicaciones/libro_energia_geotermica.pdf (Consultada en mayo 2014)

*“La energía geotérmica suma al precio estable de la electricidad ya que está desconectada de los costes de combustible. Las centrales eléctricas están encerradas en contratos fijos a largo plazo en los que "los costos de combustible" se pagan por adelantado durante la construcción de la planta en forma de altos costos de capital”*¹⁸²

Sin embargo, por el momento sigue siendo una tecnología costosa, la cual se encuentra entre los 1.780 a 5.200 U\$S/Kw dependiendo la potencia y el tipo de planta que se quiera construir, las plantas de ciclo combinado (electricidad y agua caliente) son las plantas más onerosas.

Las características detalladas anteriormente hacen de la energía geotermal una posibilidad a futuro muy competitiva, situándose el valor nivelado por debajo del gas o petróleo.

Además posee un factor de capacidad alto en similar condición con la energía nuclear, gas y carbón, algunas fuentes destacan que es mayor y muy por encima del bajo factor de capacidad de las fuentes renovables.

El impacto ecológico que produce es bajo si se lo compara con otras fuentes de energía primaria *“Entre las fuentes de energía que son adecuados para la producción de carga de base, la energía geotérmica tiene la menor huella de carbono. La energía geotérmica tiene emisiones de CO2 insignificantes (59-396 libras / MWh) en comparación con el carbón (2.200 libras / MWh) o gas natural (861 libras / MWh)”*¹⁸³

La mayor parte de las emisiones de esta tecnología son los sulfuros de hidrógeno, gas que posee un olor a “huevo podrido” característico. A fin de evitar este problema se han aplicado distintos tipos de tecnología que neutralizan el olor y al gas. *“La mayoría de los productos químicos peligrosos en los fluidos geotérmicos están en fase acuosa. Si aparece el boro y arsénico son susceptibles de perjudicar a los ecosistemas en caso de vertido en la superficie [...] Hoy en día, esto ocurre sólo en circunstancias excepcionales, y salmuera geotérmica normalmente se inyecta de nuevo en el depósito para soportar las presiones del yacimiento, así como evitar los efectos ambientales adversos.”*¹⁸⁴

¹⁸² GEOTHERMAL ENERGY ASSOCIATION “The Values of Geothermal Energy” Octubre 2013, pág. 10 en http://www.geothermal.org/PDFs/Values_of_Geothermal_Energy.pdf (Traducción del autor) (Consultada en junio 2014)

¹⁸³ Ibidem pág. 8

¹⁸⁴ EDENHOFER, Ottmar; PICHES MADRUGA, Ramon; SOKONA, Youba (et alt) Op. Cit. Pág. 419. (Traducción del autor)

En comparación con las fuentes renovables no posee un gran impacto al entorno, la extensión de terreno utilizada es baja, ni produce molestias visuales fuera de lo común.

La Investigación y Desarrollo está focalizada en mejorar los sistemas de exploración y perforación, a fin de poder hacer comercialmente viable cada vez mayor cantidad de zonas como también incrementar la eficiencia de la fuente de energía. Las plantas poseen en la actualidad turbinas de baja potencia si se las compara con las de otras fuentes por lo que para hacerlas más competitivas y reducir los costos se intensifica la búsqueda de mejores tecnologías en las turbinas de energía geotérmica.

A futuro puede instalarse como una buena opción para reemplazar las tecnologías de generación de energía cuya emisión de gases de efecto invernadero es alta. Varios países han apostado a este tipo de energía como ser el caso Islandia donde el 66% de la energía generada proviene de fuentes geotermales¹⁸⁵.

4.8 Energía Nuclear

Han sido descriptos los orígenes y evolución de la energía nuclear, como temática central en esta investigación, en capítulos anteriores. En comparación con el resto de las fuentes reviste un carácter especial, pues posee particularidades que polarizan la opinión de los expertos con respecto a esta tecnología más que cualquier otra.

Esta tecnología sufrió un retroceso debido a la tragedia ocurrida en Fukushima; entre 2011 y 2012 el consumo mundial de energía nuclear descendió un 6,9% por efecto directo de los sucesos en la planta nuclear japonesa. Si al valor se lo compara con el consumo del año 2010 el descenso es del 10,8%. A nivel global esta contracción está liderada por Japón, naturalmente, quien retrocedió de 292,4 Tw/h en 2010 a sólo 18¹⁸⁶ en 2012, acompañado en menor medida por Europa (en especial por la contracción de

¹⁸⁵ En <http://www.nea.is/geothermal/> (Consultada en julio 2014)

¹⁸⁶ Valores correspondientes a British Petroleum Statistical Review of World Energy Workbook 2013 en http://www.bp.com/content/dam/bp/excel/Energy-Economics/statistical_review_of_world_energy_2013_workbook.xlsx (Consultada en mayo 2014)

Alemania). Esta tendencia igualmente parece no continuar pues los datos actualizados de 2015 muestran un aumento del 1,8%¹⁸⁷ en 2014 con respecto a 2013.

Desde 1965 sólo habían ocurrido dos pequeñas disminuciones en el consumo de energía nuclear a nivel global y éstas fueron sólo por un año (en los años 1996 y 2003) recuperándose al siguiente año. A pesar de la baja, la energía nuclear representa, al año 2012, un 4,8% del total de la matriz energética mundial; en 2009 representaba un 5,8% según la misma fuente (Key World Energy Statistics.)

En correlación con los valores previamente analizados, la electricidad producida por la energía nuclear también sufrió un descenso del 13,4% que ocupaba a nivel global en 2009 al 10,9% correspondiente al año 2012 –según el Key World Energy Statistics-

La cuestión relativa a la seguridad representa el principal obstáculo para la persistencia de la energía nuclear, aunque las posturas sobre el futuro de la misma son dispares. Hay países que a corto y mediano plazo buscan desprenderse de este tipo de fuentes (como Alemania y Japón) otros países tienen planeado esquemas de desarrollo a gran escala (como ser Rusia y China).

Es evidente que la literatura post Fukushima es en su mayoría abiertamente negativa con respecto a esta tecnología, lo cual responde a una lógica y no es la primera vez que ocurre. Textos posteriores al incidente de la Isla de las Tres Millas como así también los escritos posteriores a Chernóbil son abiertamente contrarios a la energía nuclear y los más moderados mantiene una defensa de esta tecnología pero haciendo hincapié en la importancia de la seguridad.

La energía nuclear representó un gran avance, al presentarse como una alternativa a las fuentes fósiles y los eventos político-económicos de los '60 y '70 le concedieron la atención y los capitales necesarios para su desarrollo y explotación comercial a gran escala.

Desde el punto de vista de los costos, la energía nuclear presenta una serie de características particulares. Es necesaria una gran inversión de capital inicial para la construcción de una planta nuclear, además posee un costo de mantenimiento medio/alto y su operación debe ser realizada por personal altamente especializado.

“El costo instantáneo¹⁸⁸ estimado tomado de diferentes fuentes oscila entre menos de U\$S 1.000 por Kw hasta U\$S 2.300 por Kw”¹⁸⁹

¹⁸⁷ Valores correspondientes a British Petroleum Statistical Review of World Energy Workbook 2015 en http://www.bp.com/content/dam/bp/excel/Energy-Economics/statistical-review-2015/BP-Statistical_Review_of_world_energy_2015_workbook.xlsx (Consultada en octubre 2015)

En los costos de construcción de una planta, el reactor ocupa el mayor porcentaje, siendo éste el elemento más complejo y que requiere la implementación de variados sistemas de seguridad.

Los costos de construcción (en millones de dólares) se dividen de la siguiente manera:

Tabla 8 - Estimaciones de Costos de Capital: Advanced Boiling Water Reactor (ABWR), Diseño Maduro, en millones de dólares de 2001	
Estructuras y mejoras	198
Equipamiento de reactor de Planta	290
Equipamiento turbina de planta	210
Equipamiento eléctrico de planta	62
Equipamiento misceláneo de planta	45
Sistema principal de conducción de calor	48
Costos Directos Totales	853
Servicios de Construcción	186
Servicios de Ingeniería	91
Servicios de supervisión sobre el terreno	79
Costos Totales Indirectos	356
Costos de propietario	73
Contingencias	145
Costo Total	1426

Fuente: University of Chicago "The Economic Future of Nuclear Power" Pág. 3-13 (Traducción del autor)

Se debe tener en cuenta que el costo varía de acuerdo al tipo de reactor que se instale. Algunas son tecnologías cuya curva de aprendizaje se encuentra en un período avanzado, otras son más nuevas y requieren mayor cantidad de tiempo para mejorar y por lo tanto los costos son más altos.

El tiempo que demanda la construcción de una planta nuclear combinado con ciertas situaciones que afectaron a la industria repercutieron en el costo final de las mismas, especialmente cuando las regulaciones relacionadas con la seguridad de la planta se implementaron "*Algunas plantas nucleares tenían sobrecostos significativos, lo que a su vez se magnificaron por las altas tasas de interés de la época. Los accidentes de Three Mile Island en 1979, y especialmente en Chernóbil en 1986, afectaron la confianza pública en la seguridad de la central nuclear y provocaron*

¹⁸⁸ Es una estimación de lo que costaría si todas las partes de la instalación pudieran ser montadas y puestas juntas instantáneamente.

¹⁸⁹ UNIVERSITY OF CHICAGO "The Economic Future of Nuclear Power" University of Chicago, Chicago, 2004, Pág. 3-1 (Traducción del Autor)

*crecientes presiones sobre la normativa de seguridad, lo que afectó negativamente a los costos a los plazos de construcción.”*¹⁹⁰

Los accidentes incrementaron aún más los costos a nivel mundial, a pesar de que el accidente de Chernóbil ocurrió en un tipo de reactor que no poseía los sistemas de seguridad de sus pares occidentales. Caso diferente al accidente de la Isla de la Tres Millas el cual sí fue un llamado de alerta para los reactores occidentales (en especial los Reactores de Agua Presurizada - PWR). Ambos cambiaron la forma de operación de los reactores y tendieron a reformular las buenas prácticas como así también el entrenamiento y la operatoria del personal en caso de emergencia.

El costo de mantenimiento de la planta suele ser medio, en principio requiere de una operatoria más compleja que otro tipo de fuentes de energía, pero el costo específico del combustible es bajo, estable –aunque tiene sus propios picos- y comparativamente no requiere de gran cantidad. *“El Instituto de Energía Nuclear de Estados Unidos indica que para las plantas térmicas alimentadas por carbón el 78% del costo [de operación] está representado por el combustible, para las alimentadas por gas el 89% y para las plantas nucleares es cerca del 14% o el doble incluyendo todos los gastos finales”*¹⁹¹

Hoy (mediados de 2015) la libra de uranio se cotiza a 36 dólares, en 2007 su valor trepó a más de 130 dólares para volver a estabilizarse por debajo de los 30. Las causas relativas al aumento del precio, a diferencia de los combustibles fósiles, no están relacionadas a cuestiones político-económicas sino a temas referentes a la disponibilidad. Prospectivas relacionadas a la capacidad de extracción y a los depósitos produjeron una escalada en los precios *“El aumento de los precios del uranio entre 2003 y 2007 provocó un incremento significativo de la inversión en la exploración de uranio y en los desarrollos mineros. La intensificación de las actividades de exploración en todo el mundo dio lugar a nuevos descubrimientos y la reevaluación de depósitos conocidos”*¹⁹²

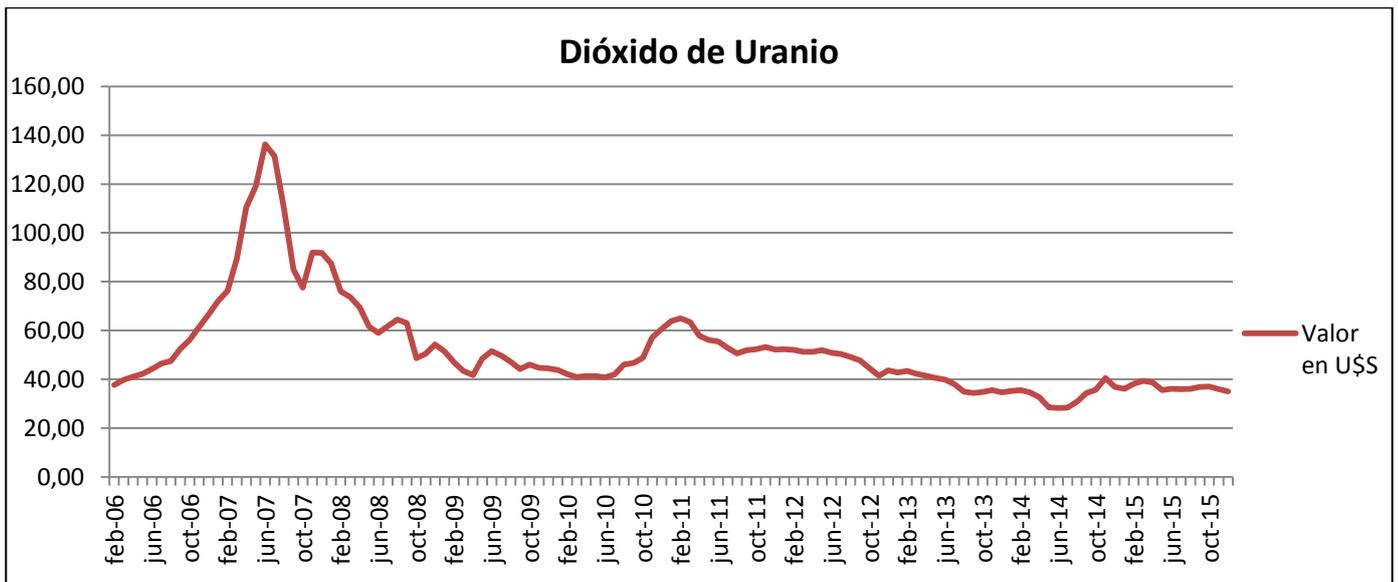
El precio además sufrió una retracción mayor debido a la menor demanda de material fisible por el cierre de plantas nucleares producto del accidente de Fukushima.

¹⁹⁰ ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD) “Government and Nuclear Energy” OECD Publications, Paris, 2004, pág. 16. (Traducción del autor)

¹⁹¹ En <http://www.world-nuclear.org/info/Economic-Aspects/Economics-of-Nuclear-Power/> (consultada en junio 2014)

¹⁹² WORLD ENERGY COUNCIL “2010 Survey...” Cit. pág. 252 (Traducción del autor)

Gráfico 15 - Evolución del valor de Dióxido de uranio 2005-2015



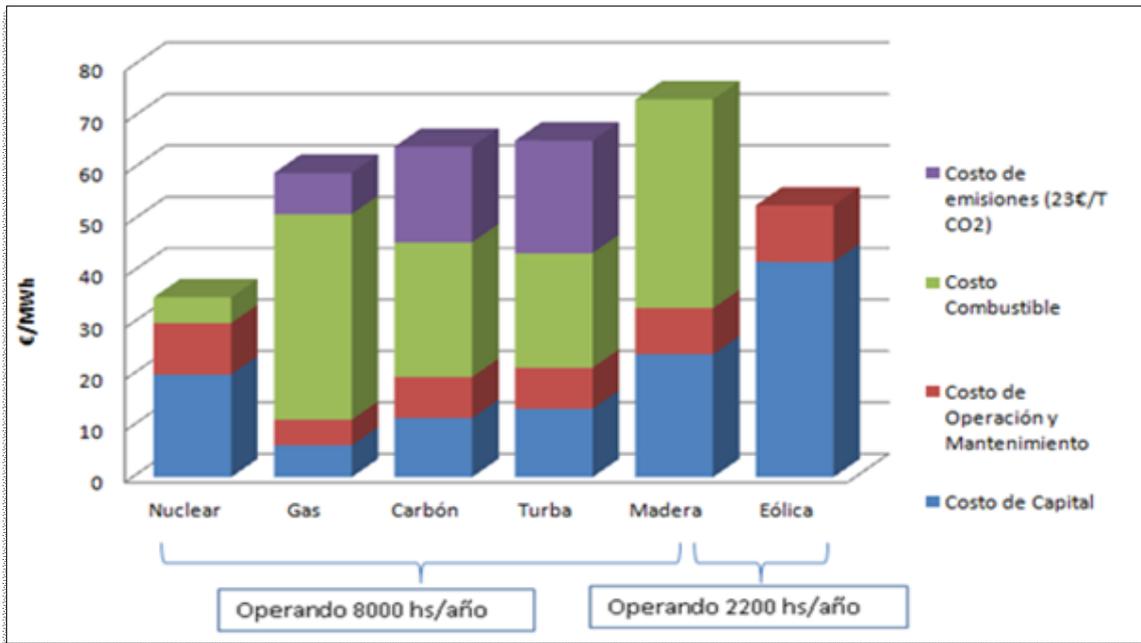
Fuente: <http://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=uranium&months=120> (Realizado por el autor)

El costo aumenta si la central nuclear es alimentada por plutonio o uranio enriquecido, puesto que los procesos de enriquecimiento de uranio como así también la obtención de plutonio requieren de la aplicación de técnicas y tecnologías sumamente costosas y de alto nivel de desarrollo lo que implica a fin de cuentas costos adicionales.

A pesar del costo inicial, a nivel global la energía nuclear sigue siendo una de las opciones más baratas a nivel de costo comparándola con el resto de las fuentes de energía. Estudios realizados por diversas fuentes indican en la mayoría de los casos que es la más accesible teniendo en cuenta que posee un factor de generación más alto que las energías renovables como la solar o la eólica. Por otro lado, si se toman en cuenta los derechos de emisión y compensación de carbono, los costos de las fuentes fósiles son aún mayores. Sin derechos de emisión “El costo de la energía nuclear es igual a 35,0 €/ MWh, que es la más baja de las alternativas estudiadas. El costo de la energía de turba es 43,6 €/ MWh, el de la energía del carbón 45,7 €/ MWh y el de energía de gas 51,2 €/ MWh. [...] El costo de las cantidades de electricidad eólica a 52,9 €/ MWh y la del poder madera 73,6 €/ MWh.”¹⁹³ Si se aplica a estos valores los derechos de emisión de carbono la tabla es aún más favorable a la energía nuclear.

Gráfico 16 – Costo de generación de electricidad con tratado de emisiones.

¹⁹³ RISTO, Tarjanne; AIJA, Kivistö “Comparison of Electricity Generation Costs” Lappeenranta University Of Technology, Lappeenranta, 2008, pág. 8



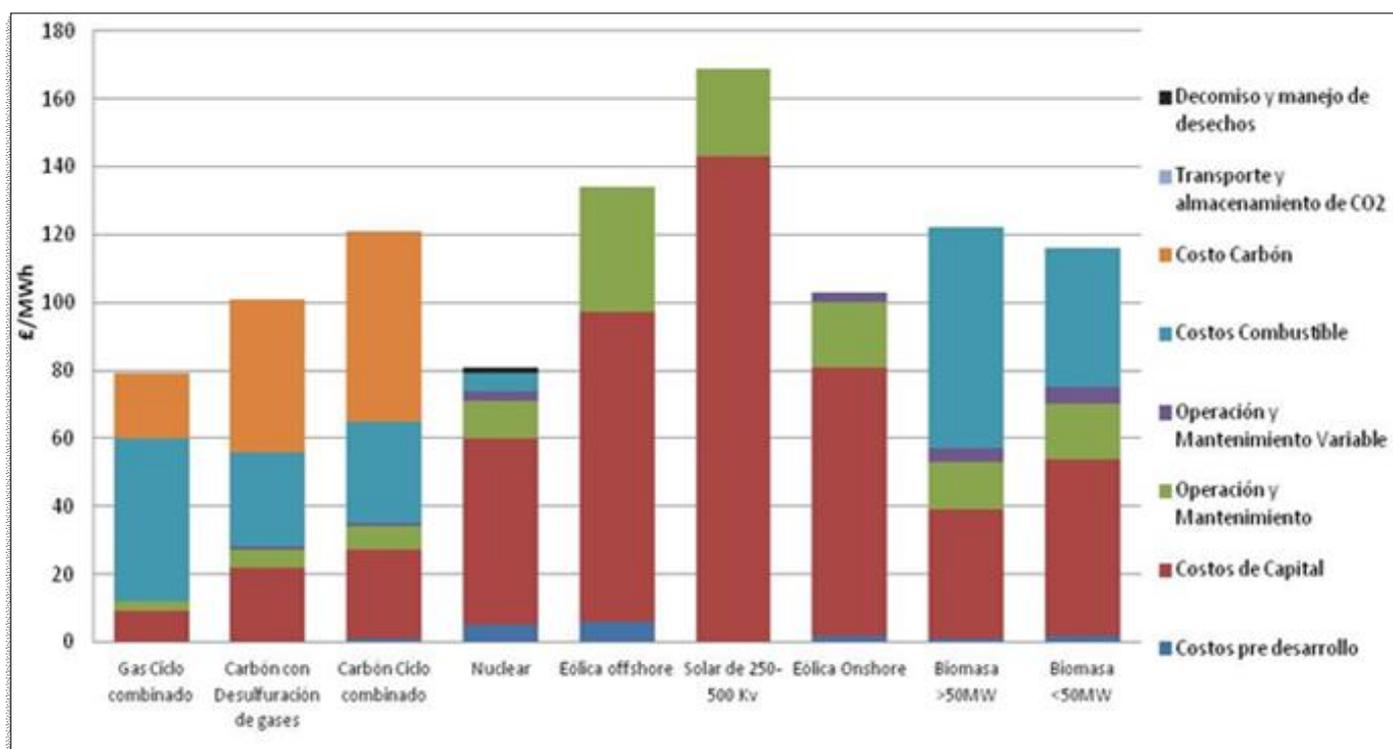
Fuente: RISTO, Tarjanne; AIJA, Kivistö "Comparison of Electricity Generation Costs" (Traducción del autor)

Otras fuentes también señalan que el costo de la energía nuclear es rentable frente a otras alternativas. Un estudio de la Agencia Internacional de Energía realiza un pormenorizado estudio de costos en los países de la OCDE y algunos fuera de esta organización y en la mayoría de ellos la energía nuclear representa el costo más bajo de generación y en caso que no sea el más bajo se encuentra entre los más bajos *“en el caso de baja tasa de descuento, mayor capital intensivo, las tecnologías de baja emisión de carbono, como la energía nuclear son la solución más competitiva en comparación con las plantas de carbón sin captura de carbono y ciclos naturales de gas combinado para la generación de carga base.”*¹⁹⁴

La mayoría de los estudios comparativos entre distintas fuentes de energía ubican a la fuente nuclear como la más competitiva, sólo levemente superada por el gas de ciclo combinado (en este caso debe evaluarse el costo-beneficio teniendo en cuenta el efecto contaminante del gas)

¹⁹⁴ INTERNATIONAL ENERGY AGENCY "Projected Costs of Generating Electricity" OECD PUBLICATIONS, Paris, 2010, pág. 18. (Traducción del autor)

Gráfico 17 – Costo normalizado comparativo



Fuente: Department of Energy & Climate Change “Electricity Generation Cost” (Traducción del autor)

Se debe tener en cuenta que en las estimaciones anteriormente realizadas el costo del uranio estaba muy por encima del valor actual por lo que muy posiblemente estos valores hayan descendido.

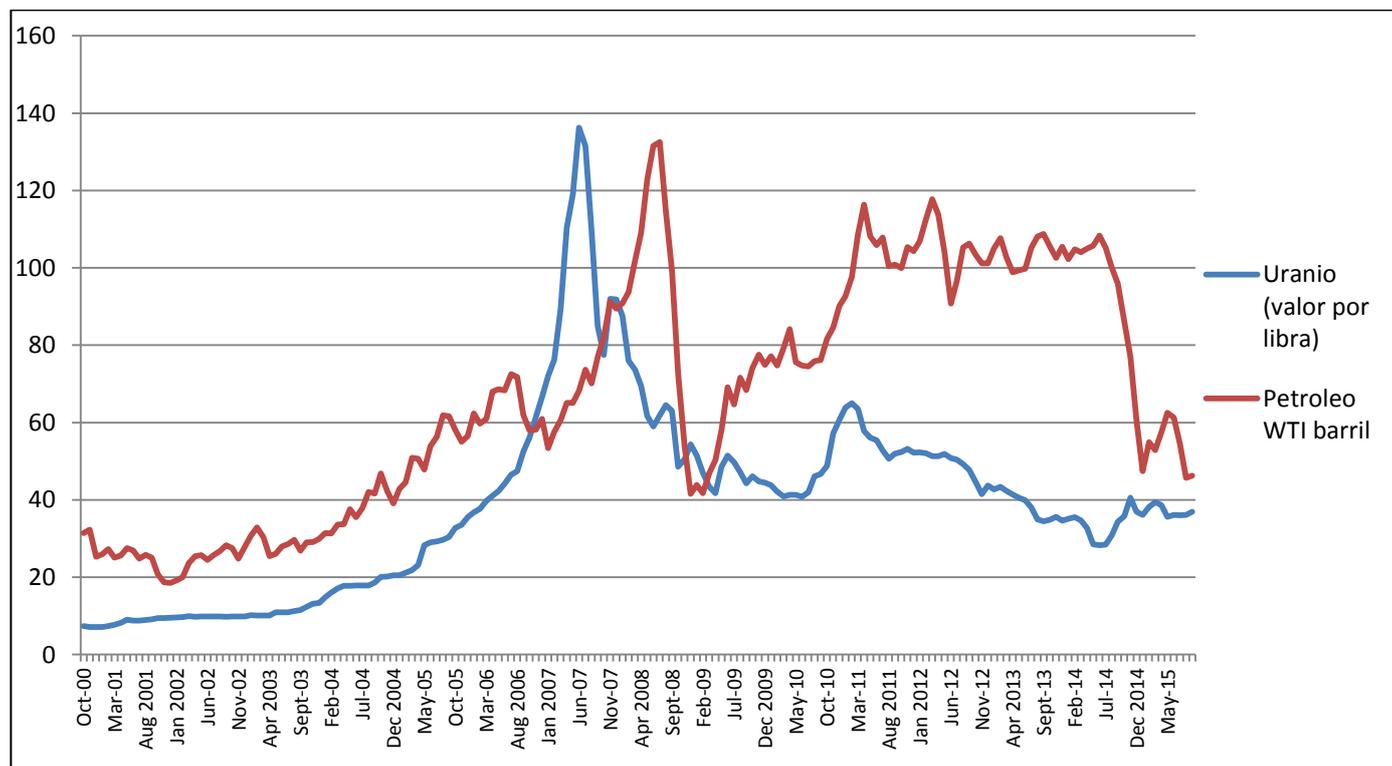
Además de la ventaja comparativa de costos de generación otro aspecto donde posee preeminencia la energía nuclear con respecto a los fósiles es en el gasto comparativo de combustible desde el aspecto cuantitativo. Éste es el punto principal donde la energía nuclear aventaja ampliamente a las demás fuentes de energía. Ya en los albores de la energía nuclear el ya mencionado King Hubbert resaltaba las ventajas de este tipo de fuente “una libra de U-235 es equivalente a 1400 toneladas de carbón o 6000 barriles de petróleo”¹⁹⁵ Se debe resaltar que Hubbert toma en cuenta solamente el uranio 235 como así también que en la época en la que escribe el artículo, los reactores no poseían la entrega energética de la actualidad. Dentro del mismo razonamiento la European Nuclear Society sostiene que “Con una combustión o fisión completa, aprox. 8 kWh de calor pueden ser generados a partir de 1 kg de carbón, aprox. 12 kWh de 1 kg de petróleo mineral y alrededor de 24 millones de kWh a partir de 1 kg de uranio-235.

¹⁹⁵ HUBBERT, Marion King Op. Cit. Pág. 31. (Traducción del autor)

En relación con un kilogramo, el uranio-235 contiene dos o tres millones de veces el equivalente de la energía del petróleo o el carbón.”¹⁹⁶

Si esta eficiencia se la compara con el comportamiento del valor del petróleo la ventaja toma dimensiones aún mayores.

Gráfico 18 – Evolución comparativa del valor del uranio y el petróleo comparativo



Fuente: <http://www.indexmundi.com/> (Realizado por el autor)

La energía que entrega el uranio es superior a cualquiera de las fuentes sean fósiles o renovables, y se debe tener en cuenta que la cantidad de uranio utilizado en comparación con el gas, petróleo o carbón es drásticamente menor.

En cuanto a la eficiencia, la energía nuclear se encuentra en porcentajes similares a los de las plantas de fuentes fósiles. Los reactores nucleares poseen una eficiencia que ronda el 30%, los reactores de nuevas generación superan ese valor mientras que los más antiguos (25%) “La eficiencia térmica de una central nuclear convencional ronda el 33%”¹⁹⁷ Incluso se espera que los reactores de IV generación logren mayores coeficientes de eficiencia que los de la actualidad.

¹⁹⁶ En <http://www.euronuclear.org/info/encyclopedia/f/fuelcomparison.htm> (consultada en junio 2014)

¹⁹⁷ UNION OF THE ELECTRIC INDUSTRY (EURELECTRIC) “Efficiency in Electric Generation” Union of the Electricity Industry – EURELECTRIC, Bruselas, 2003, pág. 9. (Traducción del autor)

Así como el gran beneficio de la energía nuclear es la capacidad de entrega de energía de su fuente, el gran “talón de Aquiles” que posee la industria se basa específicamente en el impacto ambiental. Las críticas se centran en todo el proceso del combustible desde la minería hasta el almacenamiento de los desechos.

Una vez ocurridos los accidentes que por su gravedad tuvieron trascendencia pública (Isla de las Tres Millas 1979, Chernóbil 1986 y Fukushima 2011) afloraron las críticas sobre la operación de las centrales, las medidas de seguridad y por sobre todo el impacto ambiental resultado del accidente. De los tres accidentes, el de mayor impacto fue el acaecido en Chernóbil donde el núcleo del reactor estuvo expuesto al ambiente y los componentes radioactivos de la central expulsados a consecuencia de la explosión. *“Las dos explosiones, que se produjeron el 26 de abril de 1986 a la 01:23, causaron la destrucción del núcleo y del techo del edificio. Al mismo tiempo produjeron una lluvia de escombros incandescentes y radiactivos que incluían fragmentos del combustible, partes del núcleo, materiales estructurales y trozos de grafito. Los restos del núcleo que no fueron expulsados por la explosión quedaron expuestos a la atmósfera. Para agravar la situación el grafito del moderador se incendió”*¹⁹⁸

Los efectos del accidente de Chernóbil fueron devastadores para la población, el medio ambiente y para la propia industria nuclear que quedó seriamente golpeada. Los efectos nocivos del mencionado accidente aún hoy siguen siendo evaluados *“se puede afirmar que el balance basado en los datos más confiables y verificados, es de 31 muertos en el accidente o inmediatamente después y de 19 muertos adicionales en los 12 años siguientes, entre los que tuvieron un síndrome agudo de irradiación, o por causas no directamente relacionadas con la irradiación. La situación es más compleja en lo que se refiere a los **efectos tardíos** del accidente. Lo que se ha podido comprobar fehacientemente hasta el momento es un aumento del cáncer de tiroides entre las personas provenientes de regiones contaminadas de la ex Unión Soviética.”*¹⁹⁹

Analizando los efectos sobre la salud, la radiación tuvo incidencia grave y permanente en la población cercana, no obstante se debe tener en cuenta el daño a mediano y largo plazo aún subsiste en los países que conformaban la ex Unión Soviética.

¹⁹⁸ RADICELLA, Renato “Chernóbil: Los hechos” Revista CNEA N°27-28, Año 7, Julio-Diciembre 2007, pág. 24.

¹⁹⁹ *Ibidem*, pág. 27

La medición comparativa y estrictamente numérica tiende a mostrar que la energía nuclear no ha provocado más muertes que otras fuentes, el ya citado autor Ian Hore-Lacey indica que la energía nuclear evidencia un guarismo de muertes sustancialmente más bajo que el resto de las fuentes.

Combustible	Muertes inmediatas 1970-1992	¿Quién?	Normalización de muertes por TW/h
Carbón	6400	Trabajadores	342
Gas Natural	1200	Trabajadores y público	85
Hidroeléctrica	4000	Público	883
Nuclear	31	Trabajadores	8

Fuente: Ian Hore-Lacy "Nuclear Energy in the 21st Century" (Traducción del autor)

La trampa en este tipo de comparaciones subyace en no tomar en cuenta la cuestión de los efectos nocivos de la radiación, que hasta la actualidad se encuentran bajo evaluación. Entre estos efectos se encuentra el aumento de la cantidad de cáncer (en especial de tiroides) en poblaciones limítrofes a Chernóbil, malformaciones, así como afecciones al suelo y la vida silvestre alrededor de la planta nuclear.

Existen fuentes, específicamente ONGs que tienden a malinformar a la población, por ejemplo la organización ecologista Greenpeace ubica la cantidad de muertos a consecuencia del desastre en cerca de 100.000²⁰⁰.

El análisis sobre los efectos negativos que posee la energía nuclear, ha sido realizado al momento de ocurrir accidentes, los cuáles no fueron tan numerosos. Las mediciones realizadas sobre los efectos al medio ambiente durante todo el ciclo del uranio no son significativas. Con respecto a la vida silvestre, "*A diferencia de las fuentes de generación de electricidad de combustibles fósiles, la energía nuclear no representa ningún riesgo a nivel de población para la vida silvestre*"²⁰¹ Los eventos de ocurrencia ocasional que se pueden mencionar son los impactos de las aves contra los edificios de la central nuclear (las cuales están alejadas de los grandes centros urbanos). Se debe tener en cuenta que el mencionado impacto no es de magnitud ni afecta

²⁰⁰ En <http://www.greenpeace.org/international/en/news/features/chernobyl-deaths-180406/> (Consultada en junio 2014)

²⁰¹ NEW YORK STATE ENERGY RESEARCH AND DEVELOPMENT AUTHORITY (NYSERDA) "Comparison of Reported Effects and Risks to Vertebrate Wildlife From Six Electricity Generation Types in The New York/New England Region" NYSERDA, Albany, 2009, pág. 3-26.

gravemente el ecosistema circundante, además de ser comparativamente más bajo que el causado por la energía eólica y solar.

Lo llamativo de esta tecnología es su mala fama relativa a lo ambiental en especial ante la ocurrencia de accidentes, pero la generación de energía de esta fuente es limpia, no emite polución alguna ni gases de efecto invernadero. Si bien hay ciertos estudios que indican algo de emisión de gases de efecto invernadero durante la operación, a fin de normalizar con el resto de las tecnologías se debe tomar en cuenta la totalidad del ciclo de vida de una planta nuclear. Los valores de emisión de gases del total del ciclo de vida de una planta nuclear cambian.

Valores tomados de diferentes fuentes serias dan un promedio de 66,08 gCO₂e/kwh (tomando en cuenta la minería del uranio, el enriquecimiento, fabricación del combustible, la construcción de la planta, el decomiso de la planta y el manejo y almacenamiento de los desechos) *“La primera conclusión es que el valor medio de las emisiones a lo largo de la vida útil de un reactor nuclear es 66 g CO₂e/kWh, [...] Así, la energía nuclear no puede calificarse de ninguna manera “libre de carbono” o “libre de emisiones” a pesar de que es mucho mejor (desde el punto de vista de emisiones de carbono) que la generación eléctrica proveniente del carbón, petróleo y gas natural, pero peor que la generación proveniente de elementos renovables”*²⁰² Si el precedente guarismo se coteja con fuentes cercanas a la industria nuclear el valor se reduce sensiblemente, a modo de ejemplo world-nuclear.org ubica las emisiones en un máximo de 21 gCO₂e/kWh²⁰³.

La seguridad en torno a esta tecnología ha estado siempre en discusión por motivo de los accidentes graves citados, sin embargo se debe tener en cuenta que hasta octubre de 2015 encontraban en funcionamiento 438²⁰⁴ reactores en todo el mundo y la tasa de fallas graves es baja²⁰⁵. Como se señaló previamente, a pesar de los altos índices de seguridad de las centrales nucleares, la ocurrencia de accidentes tiene consecuencias catastróficas, poco comparables a otras fuentes.

²⁰²SOVACOL, Benjamin “Valuing the greenhouse gas emissions from nuclear power: A critical survey” Energy Policy, Vol. 36, N° 8, 2008, pág. 2950.

²⁰³ En <http://www.world-nuclear.org/info/Energy-and-Environment/Energy-Balances-and-CO2-Implications/> (Consultado en junio 2014)

²⁰⁴ <http://www.world-nuclear.org/info/Facts-and-Figures/World-Nuclear-Power-Reactors-and-Uranium-Requirements/> (consultado en octubre de 2015)

²⁰⁵ No se toman en cuenta las centrales nucleares que cumplieron su ciclo de vida y están decomisadas. Si se suma ese número y se lo divide por el total de accidentes el guarismo sobre la seguridad es aún más bajo.

Sobre este tema la Agencia Internacional de Energía Atómica introdujo una escala para medir la magnitud de incidentes en instalaciones nucleares conocido como Escala Internacional de Eventos Nucleares (INES por sus siglas en inglés) la cual mide ciertos parámetros para determinar la ubicación del accidente dentro de la escala “*El nivel 1 abarca sólo la degradación de las defensas en profundidad. Los niveles 2 y 3 abarcan degradaciones más serias en la defensa en profundidad o niveles bajos de impacto en personas e instalaciones. Los niveles 4 y 7 señalan el aumento de los niveles de impacto real sobre las personas, el medio ambiente o las instalaciones.*”²⁰⁶

En esta escala solo los accidentes de Chernóbil y Fukushima se encuentran dentro del nivel 7, mientras que el accidente de la Isla de las Tres Millas se encuentra en el nivel 5.

A partir del uso de la energía nuclear con fines comerciales se han implementado en todo el mundo profundas políticas de I+D a fin de mejorar la capacidad y diseño de los reactores, la seguridad, la eficiencia, las buenas prácticas.

Según el Departamento de Energía de los Estados Unidos son 4 los objetivos del I+D de la energía nuclear: “*Objetivo 1 - Desarrollar tecnologías y otras soluciones que pueden mejorar la confiabilidad, mantener la seguridad, y extender la vida útil de los reactores actuales. Objetivo 2 - Desarrollar mejoras en la accesibilidad de los nuevos reactores para que la energía nuclear ayude a cumplir los objetivos de seguridad energética y cambio climático de la Administración. Objetivo 3 - Desarrollar los ciclos del combustible nuclear sostenible. Objetivo 4 - Comprender y minimizar los riesgos de la proliferación nuclear y el terrorismo.*”²⁰⁷

Otro de los temas de gran importancia de la I+D se centra en el tratamiento y almacenamiento de los desechos, los cuales requieren por partida doble una atención especial. En primer lugar por el tipo de material el cual es extremadamente radioactivo y contaminante y en segundo lugar por la posibilidad de su utilización con fines bélicos lo cual requiere de especiales recaudos su custodia.

Las fallas de seguridad obligaron a la implementación de nuevas regulaciones y consecuentemente la alineación de los recursos destinados a la I+D se focalizaron en la mejora de las fallas ocurridas. Muchas de las mejoras a futuro están centradas en las

²⁰⁶ INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA) “INES The International Nuclear and Radiological Event Scale. User’s Manual 2008 edition” IAEA, Viena, 2013, pág. 2.

²⁰⁷ U.S. ENERGY DEPARTMENT – NUCLEAR ENERGY “Nuclear Energy Research and Development Roadmap. Report To Congress” DOE, Abril 2010, pág. 47. En http://energy.gov/sites/prod/files/NuclearEnergy_Roadmap_Final.pdf (Traducción del autor)

nuevas generaciones de reactores. En la actualidad se encuentran en funcionamiento la II y la III generación de reactores. En especial en los reactores de II generación se tuvieron que aplicar una serie de modificaciones con el fin de adecuarse a las regulaciones.

No existe gran diferencia entre los reactores de la generación II y III. En estos últimos se incluyó una mejora basada en los de II generación. En la actualidad se están certificando los reactores de la generación III+. Esta generación de reactores es fruto de décadas de I+D aplicada a la industria nuclear, por lo cual las plantas nucleares son mucho más seguras y eficientes *“la mejora más significativa de los sistemas de generación III + respecto a los diseños de II generación es la incorporación en algunos diseños de elementos de seguridad pasiva que no requieren controles activos o intervención del operador, sino que dependen de la gravedad o la convección natural para mitigar el impacto de eventos anormales. La inclusión de características de seguridad pasiva, entre las otras mejoras, puede ayudar a acelerar el proceso de revisión de la certificación del reactor y así acortar los plazos de construcción”*²⁰⁸

La I+D trasciende el desarrollo de los reactores de generación III+. En el presente se están diseñando los reactores que formaran parte de la generación IV. Aunque todavía falta más de una década para su construcción y puesta en marcha.

Una de las grandes apuestas y esperanzas dentro de la I+D en energía nuclear es lograr la generación de energía nuclear por medio de fusión y no de fisión²⁰⁹ como ocurre en la operación de las centrales nucleares del presente. El proceso de fusión es el que se implementa en los dispositivos termonucleares que generan gigantescas cantidades de energía. El objetivo a futuro es lograr controlar la energía liberada.

Teóricamente la obtención de energía por medio de la fusión nuclear presenta una serie de ventajas por sobre la fisión: 1- es una fuente libre de emisiones, 2- no requiere de elementos combustibles difíciles de obtener (el tritio se obtiene del litio y el deuterio se obtiene del agua), 3- frente a accidentes no tendría los peligros radioactivos que poseen las actuales plantas nucleares, 4- si bien se utilizan materiales radioactivos los desechos serán menos peligrosos, 5- mejor relación energía liberada por cantidad de combustible, mientras que la energía de fusión entrega 2000 Gigajulios por kilogramos

²⁰⁸ GOLDBERG, Stephen; ROSNER, Robert Op. Cit. pág. 8 (Traducción del autor)

²⁰⁹ En la fisión nuclear lo que ocurre es la partición del uranio en elementos más livianos que el mismo. En contraposición durante la fusión los elementos más livianos se unen para formar otro más pesado.

de U-235 la fusión otorgará 3.400.000 Gigajulios por kg de deuterio-tritio²¹⁰, 6- los desechos son fácilmente tratables y 7- a su vez no posee el gran peligro relacionado con una potencial proliferación por el material que utiliza.

Estas ventajas hacen de la fusión una fuente de energía esperanzadora. Todavía existen barreras tecnológicas por superar, la fusión nuclear actúa a altísima temperatura lo que genera desafíos técnicos. Del mismo modo se ha tratado de lograr “fusión fría” es decir fusión bajo temperaturas y presiones próximas a las normales. Si bien hubo avances respecto de esta tecnología, al igual que en la “fusión caliente” todavía se requiere décadas de investigación

En la actualidad hay grandes proyectos de desarrollo de la fusión nuclear (DEMO, ITER) los cuales tiene planificada la construcción y operación de las plantas experimentales para dentro de por lo menos 20 años.

La inversión en este tipo de tecnología ha sido muy importante *“Durante la última década, el gasto público para la I+D de fusión nuclear en los países miembros IEA (International Energy Agency) se situó en unos 9 millones de dólares (a precios de 2004 y tipos de cambio) con la contribución de casi todas las inversiones por parte de Unión Europea, Japón y los Estados Unidos.”*²¹¹

A pesar de las esperanzadoras posibilidades que puede otorgar la fusión, en la actualidad la energía nuclear transcurre por uno de sus momentos más complicados, los efectos del desastre de Fukushima (una central nuclear con los parámetros de seguridad occidentales) y sus efectos puso a esta industria en el centro de las críticas ganando espacio los grandes detractores de esta tecnología. Los efectos tangibles del accidente se vislumbran en la política adoptada por varios países que decidieron en el corto y mediano plazo desestimar el uso de la energía nuclear.

Contrariamente a lo que se estima, el abandono de este tipo de fuente no es el criterio que rige unánimemente. Varios países, entre los que se encuentra el nuestro siguen apostando a esta tecnología a partir de nuevas centrales, extensión de la vida útil y mejoras de las plantas en funcionamiento y desarrollo de nuevos reactores, sin perder de vista la cuestión de la seguridad.

²¹⁰ VISWANATHAN, B. Op. Cit. pág. 105.

²¹¹INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) “Fusion Brief for the IEA Governing Board Following the Signature of the ITER Agreement by Participating Governments on 21 November 2006” 2006 pág. 4 en <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/fusion.pdf> (consultada en junio 2014) (Traducción del autor)

Aunque la mayoría de los estudios prospectivos sobre la energía nuclear no prevén gran crecimiento de la misma, todavía le quedan muchas décadas de existencia y muy posiblemente cuando la tecnología se torne aun más segura y las fuentes fósiles más onerosas probablemente la energía nuclear vuelva a tener la importancia de las décadas pasadas con el plus de la seguridad.

5 Estudio comparado de casos

“Las aplicaciones con fines civiles de la energía nuclear llevaron más y más a un primer plano, la relación entre el gobierno, la comunidad científica, la industria y el comercio se hizo progresivamente más compleja”

Walter Patterson “Nuclear Power” Pág. 87

En el presente capítulo se estudiarán casos específicos de países que utilizan de diversa manera la energía nuclear. Dentro de las variables de estudio se tendrá en cuenta la historia y el tipo de desarrollo que posee el país, la importancia de la energía nuclear dentro de la matriz energética nuclear, las políticas públicas que rigen sobre el tema y las proyecciones de la energía nucleoelectrica a futuro.

Los países fueron elegidos por sus características diferentes, Estados Unidos por ser el centro histórico donde se generó la I+D de la energía nuclear y poseer la mayor generación nucleoelectrica mundial. Rusia debido a su desarrollo concebido durante la guerra fría con las particularidades de su industria y por ser en la actualidad uno de los países que mayor ímpetu le otorga a esta forma de generación. El crecimiento exponencial que ha tenido China en los últimos años ha incrementado el uso de la energía nuclear y proyecta un mayor crecimiento aún, por lo que es un caso digno de estudiar. A su vez Alemania, siendo un país generador de I+D y un antiguo usuario intensivo de energía nuclear ha cambiado su política energética en detrimento del desarrollo nuclear. Brasil por ser junto con Argentina los únicos países que han desarrollado un plan atómico con fines pacíficos en Sudamérica, ambos con proyecciones similares pero matrices muy diferentes.

5.1 Caso Estados Unidos

Estados Unidos se ha encumbrado en la historia como el único país, hasta el momento, en haber utilizado armas nucleares en un conflicto bélico. El citado hecho es mundialmente conocido, sin embargo la noción que existe sobre el uso de la energía nuclear con fines pacíficos en Estado Unidos es sustancialmente menor. El país posee la mayor cantidad de reactores de energía nuclear en funcionamiento en el mundo (un total de 99 y 5 en construcción en 2014²¹²).

²¹² INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY Op. Cit “Nuclear Power Reactors...” pág. 11.

Como fue descrito en el capítulo 2, el desarrollo nuclear estadounidense tuvo una génesis netamente bélica y así prosiguió por la siguiente década. La concentración de los esfuerzos relativos a la física nuclear estaban direccionados exclusivamente a la obtención de mejores armas nucleares. A pesar de ser el principal objetivo el gobierno de Harry S. Truman, el presidente sancionó en el año 1946 la Ley de Energía Atómica, más conocida como la Ley McMahon. La misma dejaba bajo manos civiles el desarrollo y control de las actividades referentes a la energía atómica, separando a los militares que clamaban por dicho control y que habían sido quienes estuvieron a cargo del Proyecto Manhattan.

Dicha ley fijó el surgimiento de dos instituciones que debían ejercer dichas funciones, la Atomic Energy Commission (AEC) y el organismo de control legislativo Congressional Joint Committee on Atomic Energy (JCAE). A pesar de haber pasado a manos y control civil, la AEC y el desarrollo relativo a energía nuclear continuaron en un principio íntimamente relacionados a temas militares *“La responsabilidad fundamental de la AEC era el desarrollo de las armas nucleares más potentes y eficientes y la provisión de la Infraestructura para construirlas en cantidad”*²¹³

Específicamente lo que la AEC buscaba era una bomba a la que llamaban “La Super” actualmente conocida como bomba H o termonuclear. Luego de años de desarrollo e investigación, presionados por la urgencia de imponerse en la carrera armamentista frente a la URSS, en el año 1954 detonaron en el atolón de Bikini la primera bomba termonuclear.

La idea de utilizar energía nuclear para fines pacíficos no tuvo lugar hasta bien avanzados los años '50, en primer término por lo explicado anteriormente, la razón primaria por la cual existía la AEC era el desarrollo armamentístico nuclear y en segundo lugar, la viabilidad económica de la producción de electricidad por parte de una fuente de energía tan nueva y costosa no era en principio factible. Los bajos precios de los combustibles fósiles, sumado al bajo costo de construcción y mantenimiento de las plantas, hacían de esta novísima fuente de energía un recurso inviable para la época.

Luego de centrarse casi exclusivamente en el sector militar, comenzó a gestionarse la idea de desarrollar energía atómica para fines pacíficos. Hacia el año

²¹³ PATTERSON, Walter C. Op. Cit. pág. 80. (Traducción del autor)

1951 se inauguró la primera planta experimental, la cual producía energía aunque no comercialmente²¹⁴.

El espaldarazo que necesitaba la energía nuclear para empezar a actuar comercialmente fue dado por el entonces Presidente de los Estados Unidos Dwight Eisenhower, con el discurso para las Naciones Unidas del año 1953 conocido como “Átomos por la Paz”.

A partir de allí las condiciones estaban dadas para que comience a gestarse una política de producción de energía nucleoelectrónica. El primer paso fue la construcción y puesta en marcha de la central de Shippingport Atomic Power Station en el año 1957. Si bien produjo energía, la central fue en un principio de carácter más experimental que comercial, sin embargo se mantuvo operativa hasta principios de los años '80.

Durante la década del '50 la ley de energía nuclear fue modificada en varias oportunidades, en las cuales se permitió el acceso a la tecnología nuclear al sector industrial a fin de facilitar la cooperación entre ambos, especialmente en las áreas de investigación y desarrollo. Posteriormente se le confirió la potestad a la AEC de otorgar licencias a los privados para la construcción de centrales nucleares.

A finales de la década se construyó la central Dresden-1 enteramente con capitales privados, convirtiéndose en un hito de la nueva política nuclear del gobierno estadounidense. La energía nuclear podía ser desarrollada, construida y administrada por privados, aunque la regulación siempre recaía sobre el gobierno.

Las décadas siguientes aceleraron este proceso de construcción de centrales nucleares, en principio por la demanda energética creciente de una economía que florecía, y en segundo término por la idea establecida de que dicha energía era limpia para el medioambiente, en comparación con las emanaciones de las otras fuentes, además de ser fiable.

Durante los posteriores 20 años a la Planta Dresden-1, la cantidad de centrales nucleares creció de manera casi exponencial. Hacia el año 1979 se habían licenciado un total de 72 reactores en todo el país que otorgaban el 12% de la energía total producida. Del mismo modo, la potencia de producción eléctrica se había incrementado casi al quíntuple en el transcurso de esas dos décadas. Así pues el reactor de la planta Dresden-1 tenía una potencia de 210 MW mientras que en el año 1974 se había inaugurado el reactor Zion-1 de 1000 MW.

²¹⁴ De hecho el Reactor de Reproducción Experimental (EBR) demostró la capacidad de producir energía con una fuente nuclear iluminando cuatro lamparitas de 200 watts en diciembre de ese mismo año.

El accidente de la Isla de las Tres Millas, en Pensilvania, desató el temor que pronosticaban los opositores a este tipo de energía, poniéndola en el ojo de la tormenta con fuertes cuestionamientos. A pesar del accidente la cantidad de plantas en Estados Unidos continuaron incrementándose, aunque se ralentizó el ritmo y algunas plantas proyectadas no prosperaron. Hacia el año 1986 el país estaba inaugurando en Ohio el reactor número cien. Se debe tener en cuenta que el accidente de la Isla de las Tres Millas, provocó un cambio en el paradigma de las políticas de energía nuclear, provocando cambios en los entrenamientos y el sistema de control *“Tras el accidente de La Isla de las Tres Millas, que reveló graves deficiencias en los preparativos para situaciones de emergencia de las plantas nucleares, el Congreso ordenó que se preparen planes de emergencia para todos los reactores de energía con licencia (PL 96-295, Sec. 109). La Comisión Regulatoria Nuclear (NRC) estaba obligada a desarrollar normas para los planes de emergencia y revisar la adecuación de cada plan específico de la planta, en consulta con la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA)”*²¹⁵

Durante la década del '90 se introdujeron los reactores de tercera generación, los mismo poseían significativas mejoras respecto de los anteriores *“Estas mejoras son en las áreas de la tecnología de combustible, la eficiencia térmica, la construcción modular, los sistemas de seguridad (especialmente el uso de sistemas pasivos en lugar de los sistemas activos), y el diseño estandarizado”*²¹⁶

Las últimas dos décadas en Estados Unidos han mantenido la construcción de centrales nucleares y han cerrado algunas por los altos costos de operación para las empresas que las poseían. Durante este período varios reactores fueron autorizados a acrecentar su potencia, y a otros se les extendió la vida útil *“Hasta abril 2014, la NRC ha extendido las licencias de los 73 reactores (72 todavía en funcionamiento), más de dos tercios del total de Estados Unidos, y 27 eran en realidad en su grupo de edad 40-60 años. La NRC está considerando las solicitudes de renovación de licencia para 18 unidades más, con nueve aplicaciones más de las esperadas. Por lo tanto, casi todos los 100 reactores son propensos a tener tiempos de vida de 60 años,”*²¹⁷

²¹⁵ HOLT, Mark, “Nuclear Energy Policy” Congressional Research Service, Septiembre 2013, pág. 11 (Traducción del autor)

²¹⁶ GOLDBERG, Stephen; ROSNER, Robert Op. Cit. pág. 6. (Traducción del autor)

²¹⁷ WORLD NUCLEAR ASSOCIATION “Nuclear Power in USA” En <http://www.world-nuclear.org/info/inf41.html> (Consultada en julio 2014)

La Comisión Regulatoria Nuclear (NRC por sus siglas en inglés) ha mantenido en las últimas dos décadas un férreo control sobre las centrales nucleares y si bien la capacidad generadora de energía en estas décadas no ha crecido como en las anteriores, mantiene un leve incremento sostenido.

La política nuclear de Estados Unidos continua a paso firme a pesar de los cuestionamientos sobre la industria, de hecho se encuentra en un proceso de resurgimiento *“En un informe de 2012 sobre los avances en las iniciativas de energía federales, el gobierno de Obama afirmó con entusiasmo de lo que fue “un inicio rápido” de la industria nuclear. Se anotició que el Departamento de Energía emitió un compromiso condicional para una garantía de préstamo para apoyar los primeros reactores nucleares de Estados Unidos en más de tres décadas.”*²¹⁸

Además de los 5 reactores en construcción, la Agencia Internacional de Energía Atómica indica que se ha planificado la realización de por lo menos 17 reactores nuevos, aunque otras fuentes prevén una expansión aún mayor *“Un Subtotal de 'propuesto' de 17 unidades grandes y 7 pequeños (26.000 MWe brutos), 12 solicitudes COL [construcción combinada y proceso de licencia de explotación]-agosto de 2012, incluyendo 5 suspendidas”*²¹⁹

La inestabilidad de precios de los combustibles fósiles frente a la constante demanda eléctrica, permiten mantener a Estados Unidos como el país con mayor cantidad de plantas nucleares del mundo y mayor generación nucleoelectrónica, aunque no con mayor porcentaje de participación en la matriz energética, lugar que ostenta Francia.

La matriz energética estadounidense posee una gran dependencia de las fuentes fósiles. El sector industrial en primer lugar seguido por el sector transportista son los grandes demandantes de estas fuentes. La explotación de sus recursos es intensiva y tecnificada, poseyendo amplias reservas que pueden incrementarse gracias a la explotación de los no convencionales.

La enorme demanda energética de Estados Unidos no permite realizar cambios rápidos en la matriz, sigue siendo un gran importador de energía, sin embargo las importaciones totales han descendido gracias al aumento de la producción de gas obtenido de forma no convencional.

²¹⁸ MECKLIN, John “Introduction: US nuclear exit?” Bulletin of the Atomic Scientists, Año 69, Marzo 2013, pág.9. (Traducción del autor)

²¹⁹ WORLD NUCLEAR ASSOCIATION Op. Cit. (Traducción del autor) (Consultada en julio 2014)

A pesar de tener baja representación dentro de la matriz las energías renovables son ampliamente utilizadas y fomentadas en el país, encontrándose siempre a la vanguardia mundial de la capacidad instalada.

El Estado tiene gran participación en lo concerniente a energía, mediante constantes normativas de regulación de los privados que participan en la actividad, así como en la promoción y financiamiento de tecnologías renovables.

Dentro del esquema de generación eléctrica la energía nuclear en Estados Unidos produjo el 19,44% en 2013, el porcentaje representa una leve disminución producto del cierre de 4 reactores en el último año *“El EE.UU. posee 100 reactores nucleares en 31 estados, operados por 30 empresas de energía diferentes. Desde 2001 estas plantas han alcanzado un factor de capacidad promedio de más del 90%, la generación de hasta 807 mil millones de kWh al año y representando el 20% de la electricidad total generada”*²²⁰

Las perspectivas en EE.UU. sobre la utilización de energía nuclear son positivas e incluso pueden ser mejores, en primer lugar por mantener el crecimiento de la generación nuclear y proyectar más aún y en segundo lugar por mantenerse en la vanguardia del I+D, de la venta de know-how y productos nucleares como así también en la gestión de cooperación y regulaciones. En este marco favorable a futuro para la energía nuclear en Estados Unidos, estimaciones de consultoras indican que el país poseerá hacia 2030 una cifra cercana a 108 centrales nucleares²²¹ incluyendo nuevas centrales y centrales con procesos de extensión de vida útil.

5.2 Caso Rusia

El desarrollo científico nuclear en la Unión Soviética comenzó casi con la creación del mismo país. A comienzos de la década del '20 el área de investigación atómica era un parte pequeña del gran sistema burocrático soviético, perteneciente a la Academia de Ciencias dentro del Ministerio de Educación. Si bien poseían un conocimiento avanzado sobre la temática nuclear y participaban de las conferencias europeas sobre el tema, distaban de encontrarse a la vanguardia.

²²⁰ WORLD NUCLEAR ASSOCIATION Op. Cit. (Traducción del autor) (consultada en Julio de 2014)

²²¹ ROLAND BERGER STRATEGY CONSULTANT “ Nuclear worldwide: Where we stand 3 years after Fukushima”, marzo 2014, pág. 18 en http://www.rolandberger.com/media/publications/2014-04-02-rb-sc-pub-Nuclear_Power_Trends.html (consultado en octubre 2015)

Una década después, las posibles aplicaciones que se podían prever sobre las investigaciones en energía nuclear reposicionaban mejor forma a dicha actividad, aunque no todavía con la fuerza de otros países como Alemania. Durante esta década se produjo por primera vez agua pesada en el país como así también se construyó el primer ciclotrón europeo. Lamentablemente el sector académico de la Unión Soviética también fue otra de las víctimas de las purgas lo que afectó las mejoras en las investigaciones *“La Academia de ciencias, que en aquella época todavía estaba en Leningrado, fue uno de los objetivos de las purgas. El Comité del Partido estableció una comisión especial para investigarla y entonces encontraron que era un centro contrarrevolucionario contra el poder Soviético, por lo cual procedieron al arresto tanto de académicos, como de personal investigador”*²²²

Al comenzar la guerra las investigaciones continuaron pero el esfuerzo estaba puesto en la defensa del territorio y en el sostenimiento de la maquinaria bélica e industrial del país, quedando relegadas y con escaso aporte estatal las investigaciones científicas sobre el uranio.

El principio del cambio ocurrió promediando la “gran guerra patria” hacia el año 1943, el estado soviético reconoció la importancia de las investigaciones sobre la fisión del uranio y la minería del metal. Las intenciones netamente bélicas habían posibilitado la reactivación de actividad. Igor Kurchatov estuvo a cargo del proyecto que buscaba la obtención de combustible nuclear, obteniendo en 1944 una cantidad de plutonio suficiente.

A pesar de la reactivación, la actividad científica no dejaba de ser un aspecto menor dentro de un contexto bélico a gran escala. La situación sufriría una variación drástica a partir de la primera prueba de un arma nuclear realizada por Estados Unidos en julio de 1945. Con Alemania derrotada y Japón esgrimiendo su última resistencia, se vislumbraba un claro final a la alianza entre Estados Unidos y la Unión Soviética. Forzando a esta última a alcanzar tecnológicamente a su competidor/aliado.

Con el propósito de alcanzar la bomba atómica se reasignaron los esfuerzos en el área científico-nuclear. Esto incluía una mayor participación de las distintas áreas del Estado, los ministerios de Defensa, Educación, Economía y el NKVD (Comisariado del Pueblo para Asuntos internos). A partir de ese momento esas reparticiones estatales se

²²² CARPINTERO SANTAMARÍA, Natividad Op. Cit. Pág. 168.

vieron involucradas en el desarrollo del arma nuclear, dejando así de lado la concepción de ser un tema exclusivamente científico.

El esfuerzo no fue en vano, hacia 1946 el país logró la primera reacción en cadena sostenida. A toda prisa comenzaron a construirse instalaciones secretas para abarcar todo el proceso de creación de la bomba, desde la minería de uranio hasta reactores para la creación del material fisible necesario para la bomba.

El esfuerzo tuvo sus frutos en 1949 cuando se probó de manera exitosa la primera bomba nuclear soviética. La primera meta había sido alcanzada, el siguiente paso era obtener la bomba de hidrógeno antes que los Estados Unidos.²²³

El esfuerzo de la industria nuclear de la Unión Soviética estaba, como gran parte de su presupuesto y organización, enfocado a fines militares. Hacia 1954 se estableció la primera planta nuclear con fines pacíficos en la ciudad de Obninsk, era un reactor de baja capacidad (5 MW) y de carácter más experimental, sin embargo fue conectado ese mismo año a la red eléctrica nacional.

El desarrollo derivado de los reactores de la planta de Obninsk, conocidos como AM, fueron los tristemente famosos RBMK.²²⁴ La utilización civil de los mencionados reactores tenía por finalidad abastecer al aparato militar soviético de los elementos nucleares para su arsenal *“El RBMK tuvo su origen en los reactores soviéticos de uranio y grafito, cuyo objetivo era la producción de plutonio”*²²⁵ Los reactores de este tipo, los primeros con posibilidad real de uso comercial a gran escala, comenzaron a ser construidos a lo largo del territorio soviético a partir de la década del '70.

Sin embargo, se debe tener en cuenta que el paradigma de la industria nuclear era distinto al occidental, la seguridad, los estándares y procedimientos de los reactores y las plantas no eran equiparables a lo de sus pares del otro lado de la cortina de hierro.

Mientras se construían los reactores antes mencionados, comenzaron a aplicarse a nivel comercial, los diseños aplicados a los submarinos y barcos de la armada soviética. Estos reactores poseían diseños y sistemas similares a los utilizados en occidente. Conocidos como VVER²²⁶ comenzaron a construirse y utilizarse durante la misma

²²³ Si bien no lo lograron con anticipación, lo hicieron apenas un año después que Estados Unidos, en 1953.

²²⁴ *Reaktor Bolshoy Moshchnosti Kanalniy* que significa "reactor (de) gran potencia (del tipo) canal".

²²⁵ LEDERMAN, Luis “Seguridad de los Reactores RBMK: establecimiento del marco técnico” Boletín del OIEA, N° 1-1996, pág. 10. En http://www.iaea.org/Publications/Magazines/Bulletin/Bull381/Spanish/38102741017_es.pdf

²²⁶ *Vodo-Vodyanoi Energetichesky Reactor*; que significa “Reactor de Poder Agua-Agua”

década que los RBMK, aunque poseen una variedad mayor de potencia la cual varía entre los 70 a 1200 MW.

Estos dos tipos de reactores conformaban los pilares de la energía nuclear con fines pacíficos²²⁷ de la Unión Soviética *“Al momento del accidente de Chernobyl en 1986, Rusia poseía 25 reactores nucleares en operación, divididos casi igualmente entre los reactores RBMK y los de agua liviana similares a los occidentales”*²²⁸

El accidente de Chernóbil, fue el resultado de una sumatoria de errores humanos y de diseño, ocurridos durante una prueba en el reactor número 4 de la planta. El secretismo imperante en la industria nuclear soviética, tanto en la bélica como en la pacífica, mantuvo oculto el evento siendo el mismo descubierto por la medición de radiación en los países occidentales. Las medidas de manejo de crisis no fueron las más acertadas, se expulsó al aire gran cantidad de material radioactivo, el corazón del reactor en llamas quedó expuesto durante días. Por tal motivo tuvo que construirse un sarcófago sobre la unidad número 4.

El evento asestó un golpe severo a la industria nuclear mundial y a la soviética en particular ubicándola en el ojo de la tormenta. Los movimientos anti nucleares volvieron a cargar contra este tipo de plantas en todo el globo. La imagen de los reactores entre la opinión pública, que hacía unos años atrás sostenía un apoyo a este tipo de producción de energía, cayó drásticamente.

A nivel local, la Unión soviética revisó los parámetros de las normativas de seguridad *“Tras el accidente de Chernóbil, se revisaron de nuevo las normas de seguridad soviéticas (OPB-88), y uno de los RBMK (Smolensk-3) se construyó conforme a estas normas de “tercera generación”*²²⁹ Posteriormente solicitó ayuda a la AIEA (Agencia Internacional de Energía Atómica) para actualizar la seguridad de todos los reactores RBMK existentes.

Los reactores planificados de este tipo fueron cancelados y los que estaban en construcción recibieron severas modificaciones de diseño. A partir del accidente todos los reactores que se construyeron fueron del tipo VVER.

Los años siguientes se presentaron aún más devastadores para la industria nuclear soviética *“El complejo de energía atómica ruso, sufrió entonces tres golpes*

²²⁷ Cabe destacar que la dualidad de funciones de los RBMK los convertían en reactores con finalidad civil y militar simultáneamente.

²²⁸ POMPER, Miles “The Russian Nuclear Industry: Status and Prospects” Nuclear Energy Futures Papers N°3, Enero 2009, pág. 3.

²²⁹ LEDERMAN, Luis Op. Cit. Pág. 10.

severos, el accidente de Chernóbil, el colapso de la Unión soviética y la crisis financiera de los '90”²³⁰ Luego de estos tres eventos ocurridos en los diez años que siguieron al accidente de Chernóbil la totalidad de la industria se resintió. En primer lugar se cerraron los reactores más antiguos de utilidades varias, por carecer de medidas de seguridad básicas y en segundo lugar los científicos, ingenieros y trabajadores de la industria nuclear emigraron en busca de nuevos horizontes.

Desde el accidente de Chernóbil hasta el año 2000 se conectaron a la red eléctrica 4 reactores, todos ellos estaban en construcción cuando ocurrió el desastre, sólo uno de ellos era del tipo RBMK. Rusia había perdido muchos reactores que quedaron en manos de nuevos países desprendidos de la ex URSS, lo que sumado a la baja introducción de nuevos reactores resultó en una menor participación de la energía nuclear en la matriz energética.

A pesar de la crisis, Rusia pudo comenzar a sacar rédito de los cambios, primeramente ofreció al mundo su tecnología, aprovechando las nuevas condiciones exportó combustible nuclear, realizó acuerdos con las potencias occidentales e incrementó la minería del uranio entre otras actividades realizadas.

El resurgimiento económico ruso provocó también un renacimiento del sector, el Ministerio de Energía hacia el año 2000 proyectaba en el mejor escenario hacia 2010, 32 reactores en funcionamiento y 224 Tw/h de producción eléctrica²³¹. El objetivo se cumplió parcialmente, la cantidad de reactores fue alcanzada pero con una producción de 161,7 Tw/h y un 17,5%²³² de la matriz eléctrica del país. En los últimos 12 años se inauguraron cuatro nuevos reactores de tipo VVER. Además están bajo construcción 10 reactores, nueve de ellos tipo VVER y uno tipo BN-800233. Se debe sumar al último guarismo la proyección de 22 reactores nuevos que estarán operativos entre el 2017 y el 2020.

La intervención estatal en la política energética es alta, domina todos los procesos relacionados a la energía nuclear, la Corporación Estatal de Energía Atómica Rusa (ROSATOM) está a cargo de las centrales y de asumir los desafíos como la reconstrucción de la planta de personal del área, trabajar profundamente en la extensión

²³⁰ POMPER, Miles Op. Cit. Pág. 3.

²³¹ MINISTRY OF THE RUSSIAN FEDERATION FOR ATOMIC Energy “Strategy Of Nuclear Power Development In Russia In The First Half Of The 21st Century” Moscú, 2000, pág. 17.

²³² INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY Op. Cit “Nuclear Power Reactors...” pág. 10.

²³³ *Ibidem*, pág. 13.

de vida de algunos reactores anticuados y con deficiencias de seguridad y encontrar la financiación completa para todas las plantas proyectadas, entre otras funciones.

ROSATOM ha unificado los estudios de grado en el país para formar a los nuevos cuadros de trabajadores, como también ha tratado de repatriar a los que emigraron. Trabaja además junto con el gigante del gas Gazprom para conseguir los fondos necesarios para el ambicioso plan de crecimiento nuclear. La meta en la actualidad es superar holgadamente el casi 20% de contribución a la matriz energética que aporta la industria nuclear rusa., *“En octubre de 2006, Putin aprobó un programa llamado "Desarrollo del Complejo de Industria de Energía Nuclear en Rusia para el período 2007-2010 y en relación con 2015," que describe los planes para el complejo energético nuclear de Rusia. [...] El plan establece que la energía nuclear proporcionará una cuarta parte de la electricidad de Rusia en 2030.*”²³⁴

Según la Administración de Información Energética estadounidense (IEA) el Estado ruso realiza una ambiciosa apuesta a la energía nuclear a muy largo plazo, teniendo como objetivo generar entre el 45% al 50% de la matriz hacia el 2050 y entre el 70% al 80% hacia 2100.²³⁵

Dentro y fuera de la misma Rusia las discusiones sobre la seguridad de sus centrales permanecen vigentes y por extensión las dudas sobre el desarrollo de su programa nuclear. En el presente ROSATOM concentra las actividades de I+D nuclear del país, abastece de combustibles nucleares, asiste técnicamente y construye reactores nucleares en otros países por lo que se encuentra bien posicionada a nivel mundial.

El evento de Fukushima causó algunos problemas en sus actividades, como sucedió a nivel global con el resto de las empresas relacionadas con la industria, pero mantiene sus actividades y proyecciones a futuro *“La reevaluación de la energía nuclear en muchos países del mundo crea problemas no sólo para aquellas plantas que se han programado en zonas de riesgo de sufrir terremotos graves. Es posible esperar otras revisiones. Para ROSATOM, esto significa la disminución de los beneficios y una pérdida de recursos para el desarrollo de la industria en la propia Rusia. De todos los nuevos proyectos de centrales que anunciaron, sólo los más lucrativos permanecerán.*”²³⁶

²³⁴ POMPER, Miles Op. Cit. Pág. 9.

²³⁵ En <http://www.eia.gov/countries/cab.cfm?fips=RS> Consultada en julio 2014

²³⁶ SLIVYAK, Vladimir “Russia and Fukushima” Russian Analytical Digest N° 101, Agosto 2011, pág. 4. (Traducción del autor)

Para finalizar, a nivel energético Rusia tiene preponderancia mundial por la gran cantidad de reservas gasíferas, petrolíferas y carboníferas que posee. El país es uno de los exportadores más importantes de las dos primeras fuentes posicionándolo en un lugar estratégicamente de privilegio. Sin embargo, se puede aseverar que la energía nuclear rusa vive un presente bueno con capacidad de futuro prometedor, luego de casi tres décadas desafortunadas desde todos los ángulos para la industria nuclear.

5.3 Caso Alemania

Alemania representa un caso particular en lo que respecta a la energía nuclear. La generación por medio de esta fuente se vio severamente afectada debido al accidente de Fukushima Daiishi. Por este motivo se generó una fuerte presión por parte de la sociedad y del movimiento ecologista el cual es tan importante en dicho país que conformó un partido político (conocido como Die Grünen “los verdes”) que posee representación en los parlamentos de los estados y de la federación.

El desarrollo nuclear alemán, a diferencia de sus pares soviéticos, estadounidenses, chinos, ingleses y franceses, comenzó con una finalidad netamente pacífica. Con los recuerdos todavía vigentes de una guerra devastadora, los temores a que la República Federal Alemana reprodujese la carrera armamentista del pasado con la sumatoria de Armas de Destrucción Masiva (ADM), resultaron en un control estricto a dicha actividad por parte de los países vencedores.

Este severo control continuó incluso a pesar de ser un país clave en el contexto de la guerra fría, forjando un comienzo diferente al de los estados proliferantes “*A mediados de 1950, cuando Alemania Occidental se le permitió dedicarse a la investigación y el desarrollo de la energía nuclear a gran escala, Estados Unidos comenzó a desplegar en suelo alemán las armas nucleares*”²³⁷

Pasadas varias décadas el desarrollo nuclear volvía a realizarse en el país donde había comenzado. El primer reactor de investigación se instaló en el Estado de Baviera en el año 1957. Alemania formó parte durante esa década de EUROATOM junto a otros países del viejo continente y en 1960 el congreso promulgó la ley de energía nuclear, la cual definía el desarrollo de este tipo de tecnología sólo a los fines pacíficos.

²³⁷ KRIEGER, Wolfgang “The Germans and the nuclear Question” German Historical Institute, N° 14, Washington, 1995, pág. 14 (Traducción del autor)

El país no fue ajeno a los efectos de la crisis del petróleo, siendo esta circunstancia la que impulsó la ampliación de la generación nucleoelectrica. La demanda industrial alemana necesitaba de fuentes de generación autóctona. A partir de dicha premisa el país desarrolló el ciclo cerrado del uranio, creó un conglomerado de empresas para poseer una industria autóctona con diferentes tipos de reactores, en un principio adquiriendo licencias extranjeras “En 1966 este primer reactor germanoccidental comenzaba a generar electricidad. [...] un PWR construido por Siemens en conjunto con la AG –los pioneros de la industria nuclear nacional- bajo licencia Westinghouse. Poco después en 1969, estos dos gigantes industriales se unirían para formar la Kraftwerk Union AG, que propondría sus propios modelos en el mercado doméstico y en el de exportación”²³⁸

La subsidiaria creada a partir de AEG y Siemens, Kraftwerk Union (KWU), logró posicionarse en el mercado mundial y comenzó a vender varios tipos de reactores, incluido Atucha I siendo éste el único reactor de agua pesada que exportó²³⁹.

Mientras Alemania Federal encaró su propio desarrollo nuclear, Alemania Democrática comenzó casi simultáneamente a realizar sus propias investigaciones y a construir sus propias centrales. Las centrales nucleares de Alemania Oriental eran de diseño soviético en especial las VVER.

Cuando se produjo la reunificación del país, los cuestionamientos de seguridad referentes a los reactores soviéticos, aunque no fuesen del tipo RBMK como los de Chernóbil, dieron por resultado el cierre y decomiso de las centrales en funcionamiento²⁴⁰ e interrupción de las que se encontraban en proceso de construcción en ese mismo año.

La opinión pública alemana mantuvo cuestionamientos al desarrollo de la energía nuclear. Durante varias décadas realizaron grandes movilizaciones contra instalaciones o proyectos relacionados a esta industria logrando en algunas ocasiones detener planes impulsados por el Gobierno.

La matriz energética alemana depende de fuentes fósiles que no posee el país (a excepción del carbón) esta situación le genera la necesidad de una demanda constante de petróleo y gas proveniente de diversos países como Rusia, Noruega y Holanda, entre otros. Esta dependencia de fuentes externas ha condicionado en varias ocasiones la

²³⁸ CASTRO DIAZ BALART, Fidel Op. Cit. Pág. 104 y ss.

²³⁹ Si bien Atucha II es un reactor de diseño alemán, el largo tiempo que llevó su construcción hizo que parte de la tecnología sea aportada por parte de I+D nacional.

²⁴⁰ Los 5 reactores de la central de GREIFSWALD y el reactor experimental de RHEINSBERG.

política exterior alemana, en especial con respecto a Rusia, su principal proveedor de gas y petróleo.

La participación nuclear en la matriz era de un 11% en 2010, teniendo por objetivo dentro de sus políticas a corto plazo extender la vida útil de varias de sus centrales de más de 30 años de antigüedad. El accidente de Fukushima Daiishi, impactó ampliamente en la percepción sobre esta tecnología tanto en la sociedad como en el ámbito político alemán. Éste último realizó un drástico cambio en las políticas públicas del sector nuclear. Así pues en 2011, por orden del Poder Ejecutivo las ocho centrales nucleares más antiguas²⁴¹ fueron puestas fuera de servicio para su revisión, pero la presión de la opinión pública sumado a las organizaciones anti-nucleares y el partido verde, dieron por resultado el cierre definitivo de las mismas. Las restantes comenzarán a salir de servicio durante la próxima década, previendo que se decomise en el año 2022 la última de ellas.

El efecto inmediato fue la disminución de la generación nucleoelectrónica, la cual debió ser suplida por otro tipo de fuentes. En el año 2010 Alemania producía 140,6 TW/h, al año siguiente la producción descendía a 108 TW/h y en 2014 alcanzó los 97,1 TW/h, significando un descenso del 31% entre 2010 y 2014.

El efecto Fukushima en Alemania fue más allá del cierre de las centrales nucleares *“El gobierno alemán se comprometió a cerrar su capacidad nuclear en 10 años. No sólo eso, sino sustituirlo por energías renovables, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en un 40% para 2020 y 80% en 2050, asegurar que las energías renovables contribuyan al 80% de la energía de Alemania en 2050, y asegurar que el consumo de energía caiga un 20% en 2020 y 50% para el año 2050”*²⁴² La implementación de la mencionada política pública abarca no sólo cuestiones energéticas y ambientales, sino que va mas allá a partir de la búsqueda de la variación del comportamiento social relacionado al consumo energético.

Más allá de las declaraciones sobre políticas a muy largo plazo, la concreción de las mismas es una tarea difícil de llevar a cabo. Alemania se enfrenta a un problema importante que es suplantar la energía nucleoelectrónica que se dejó y dejará de producir. Volver al carbón o al gas no es la opción más beneficiosa para las políticas medioambientales que buscan reducir la emisión de gases de efecto invernadero. *“El*

²⁴¹ Todas ellas puestas en función entre 1970 y 1974.

²⁴² SMEDLY, Tim “Goodbye nuclear power: Germany's renewable energy revolution” The Guardian, 10 de mayo de 2013, Londres, en <http://www.theguardian.com/sustainable-business/nuclear-power-germany-renewable-energy> (Traducción del autor)

consumo de carbón se incrementó después del accidente del reactor de Fukushima en Japón que se produjo en marzo de 2011, y Alemania utiliza el carbón como un sustituto de la energía nuclear en la generación de electricidad”²⁴³

La energía renovable con gran presencia en la matriz alemana, siguen poseyendo varias deficiencias y es una energía más costosa. El Estado alemán, a partir del cierre de las centrales nucleares, ha optado en lo inmediato por soluciones iguales o peores a la nuclear “*La electricidad que les falta, los alemanes se la compran barata (y de origen nuclear) a Francia o fabricada a carbón a Polonia y a otros países del Este. En suma, que el ecologismo germano vive del átomo francés y le pasa la factura al resto del planeta, que hace un mayor uso del más contaminante e ineficiente de todos los combustibles fósiles, el carbón, que viene causando tragedias peores que la de Fukushima, pero con menos prensa.*”²⁴⁴

Alemania demostró fácticamente la posibilidad de diversificar la matriz a partir del crecimiento de las tecnologías renovables, pero la actualidad de su política energética no está libre de contradicciones. A partir de la eliminación gradual de la energía nucleoelectrica, en pos de la seguridad medioambiental, el país reemplaza una tecnología libre de emisiones, en la que dominan todo el ciclo del combustible, por otra contaminante y sujeta a precios variables y vaivenes políticos. Muy posiblemente Alemania desea convertirse en un ejemplo a seguir con respecto a la política no nuclear y así como se instaló como una potencia nuclear (pacífica) quiere demostrar que una matriz sin energía nuclear en países muy desarrollados es posible “*La eliminación de la energía nuclear por parte de Alemania podría proporcionar un concepto de prueba, demostrando la viabilidad política y técnica del abandono de una polémica energía de potencial alto riesgo. La eliminación de la energía nuclear alemana, exitosa o no, es probable que se convierta en un elemento de cambio para la energía nuclear en todo el mundo*”²⁴⁵

No cabe duda que la industria nuclear alemana posee una fecha de finalización, durante la próxima década deberá encontrar un sustituto sustentable para el 7% que representa la energía nucleoelectrica en la matriz alemana. La/s fuente/s que se utilicen

²⁴³ U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA) en <http://www.eia.gov/countries/country-data.cfm?fips=gm#tpe> (Traducción del autor)

²⁴⁴ ARIAS, Daniel “Que Pasara con la Energía Nuclear de Aquí a 2030” Revista U238, Año 1, N°3, Diciembre 2012, pág. 22.

²⁴⁵ MECKLIN, John “The German Nuclear Exit: Introduction” Bulletin of the Atomic Scientists, Año 68, Noviembre, 2012, pág. 7. (Traducción del autor)

como reemplazo deberán dar respuesta al abastecimiento del octavo país en consumo de energía y cuarta economía mundial siempre en crecimiento.

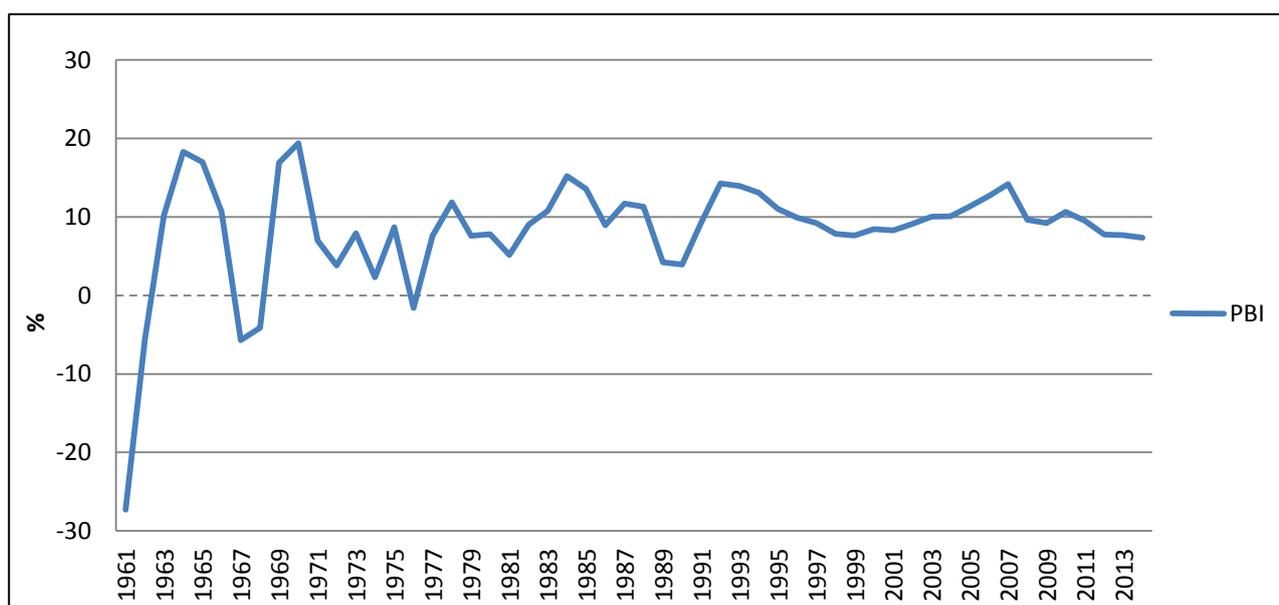
5.4 Caso China

El desarrollo nuclear chino fue diferente del resto de los países dominados bajo regímenes comunistas. En primer lugar no desarrolló planes nucleares con fines pacíficos hasta los '70, aunque ya poseía un importante aparato industrial y científico avanzado direccionado a achicar la brecha militar con las otras potencias. Las constantes tensiones con la Unión Soviética dieron por resultado la ausencia de centrales nucleares de diseño soviético en suelo maoísta.

Los planes quinquenales chinos y el “gran salto” requirieron de una enorme demanda energética, esta demanda se concentró específicamente en el carbón y el petróleo por lo que la matriz china a partir del '50 y durante las tres décadas siguientes se consolidó sobre la base de fuentes fósiles, pues eran las que requerían menos tecnología de punta y su rápida puesta en servicio proporcionaba la solución más ajustada a sus necesidades en función del crecimiento que vivía el país.

El crecimiento del PBI chino en los últimos 60 años fue a tasas altas y sostenidas, con esporádicas crisis. Desde 1960 hasta 2013 el PBI chino creció a un promedio de 8,1%, un crecimiento muy alto que genera una demanda energética gigante. Desde 1992 a 2012 el promedio de crecimiento fue del 10,1%.

Gráfico 19 – Variación del PBI chino 1961-2014 (% anual)



Fuente: Banco Mundial (Elaboración propia)

Con el pacto sino-estadounidense de 1972 y las políticas de apertura de Deng Xiaoping la República Popular China comenzó a abrirse a nuevas tecnologías y a incrementar el nivel de sus científicos. La apertura le dio la oportunidad a China de poder tecnificar su industria, como se pudo vislumbrar en el capítulo anterior, una gran cantidad de los accidentes relacionados a los ciclos de vida de varias de las fuentes de energía ocurrieron en dicho país a causa de la baja tecnificación y medidas de seguridad implementadas.

El uso intensivo del carbón por parte de la República Popular China ubica al país como el mayor emisor de CO² a nivel mundial, así como el mayor consumidor de esta fuente. La segunda fuente en importancia es el petróleo, si bien cuenta con reservas propias éstas han alcanzado el “pico de hubbert” por lo que posee una enorme demanda de petróleo siendo el segundo importador mundial. A pesar de las deficiencias de petróleo, China posee grandes reservas de gas tanto convencional como no convencional.

El país trató de variar la matriz energética en los últimos años, implementando grandes desarrollos hidroeléctricos, posee la represa más grande del mundo; utilizando otro tipo de energías renovables a gran escala, las cuáles frente a la enorme demanda de energía no representan un porcentaje amplio dentro de la matriz.

Por su parte, la energía nuclear es otra de las industrias energéticas que tomaron gran impulso en el último cuarto de década. Las primeras centrales nucleares comenzaron a construirse a mediados de los '80 para unirse a la red eléctrica a principio de los '90. En la actualidad China opera 21 reactores nucleares de tres diferentes tipos. Los diseños los adquirió en diferentes países como Francia, Canadá y Rusia, aunque también ha realizado desarrollos propios. El crecimiento en la capacidad instalada nucleoelectrica china es una de las más importantes de los últimos 20 años, sin embargo se debe tener en cuenta que los 30 reactores que operan actualmente generan sólo el 2,1% de la matriz eléctrica china y más del 1% de la matriz energética total.

Si bien los eventos de Fukushima tuvieron un impacto centrado en la seguridad de los reactores en funcionamiento, la política nuclear china está centrada en el aumento de la capacidad instalada. Según la “World Nuclear Association” hasta la diciembre de 2014, el país posee 27 reactores en construcción y más de 34 planeados en la zona costera y 26 en el interior del país. Esto significa que en el corto plazo varias de las centrales en construcción serán conectadas a la red y se espera que en el mediano y

largo plazo la capacidad instalada aumente considerablemente. Según la misma fuente la planificación a de reactores es superior a 150.²⁴⁶

Las políticas estratégicas de energía en China, a pesar del accidente de Fukushima, apuestan fuertemente a la energía nucleoelectrica, no como la principal fuente de energía, sino como una forma de disminuir la dependencia del país hacia el carbón.

Estas políticas para disminuir el uso intensivo del carbón y diversificarlo en otras fuentes, tienen por finalidad reducir los efectos nocivos de esta fuente, visibles en la gran cantidad de polución y emisiones tóxicas de los grandes conglomerados urbanos *“La polución ambiental en China es mayormente humo negro y los contaminantes más importantes son dióxido de azufre, polvo y óxidos de nitrógeno. Esto está íntimamente relacionado a la estructura de consumo energético de china basada en el carbón”*²⁴⁷

A diferencia de otros países, el ejercicio de la política en China no permite masivas expresiones de rechazo a las políticas de gobierno por parte de la sociedad u organizaciones, por este motivo el peso de la opinión pública no es tan fuerte como para limitar las políticas nucleares o el uso intensivo de la industria carboeléctrica.

Finalmente, debido a la grave situación medioambiental que sufre la República Popular China, la energía nuclear se convierte en una gran opción para paliar dichos problemas y poder diversificar una matriz tan dependiente del carbón.

5.5 Caso Brasil

El caso de Brasil fue seleccionado por ser el otro país latinoamericano junto a la Argentina con un desarrollo nuclear. La energía nucleoelectrica realiza un aporte pequeño en la matriz energética brasilera, dominada en gran medida por el aporte que realiza la energía hidroeléctrica.

La historia del desarrollo nuclear brasilero comienza en la década del '50 con las intenciones de dicho país de adentrarse en las investigaciones de avanzada sobre las cuestiones nucleares, en las cuales las potencias estaban liderando la I+D.

²⁴⁶ En <http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-A-F/China--Nuclear-Power/> (consultada en junio 2014)

²⁴⁷ JINNNAN, Wang “China National Energy Strategy and Policy 2020: Subtitle 6: Energy Environment and Its Public Health Impact” pág. 23. En <http://www.nrac.wvu.edu/projects/sheia/publications/chinaenergypolicy2020.pdf> (Traducción del autor)

Una conjunción de voluntades de distintos ámbitos logró cimentar la base de los primeros avances de la investigación nuclear brasileña. Durante la presidencia de Getúlio Vargas confluyeron los diferentes sectores destinados a la profundización de los conocimientos sobre la energía nuclear, aunque cada una de las partes con diferentes objetivos *“Por un lado, los profesores de ciencias de la Universidad de Brasil necesitado apoyo para establecer la infraestructura para la investigación; por otro lado, el militar, técnico y empresarios para lograr el intercambio de conocimientos para producir energía nuclear, promovieron de la fundación del Centro Brasileño de Investigaciones Físicas”*²⁴⁸

El apoyo estatal a esta nueva forma de generación de energía fue amplio aunque la inestabilidad política no convirtió inmediatamente a la política nuclear del Brasil en una política pública sostenida de manera constante a través del tiempo.

A pesar de los avatares políticos, se establecieron centros de investigación relacionados con la energía nuclear como así también comenzó la exploración sobre minería de uranio.

Durante este período se creó la Comisión Nacional de Energía Nuclear, como órgano máximo relacionado a la I+D nuclear, organismo que perdura en la actualidad y es el equivalente de la CNEA argentina. *“CNEN, como la principal agencia de planificación, orientación, supervisión e inspección, fue la encargada de proponer medidas que se consideren necesarias para la orientación de la política general de la energía atómica en todas las fases y aspectos”*²⁴⁹

Uno de los objetivos primordiales de la industria y el sector político fue el de obtener el desarrollo autónomo de la energía y el ciclo nuclear. El fracaso de varios proyectos de desarrollo autónomo dio por resultado los acuerdos con Estados Unidos para la construcción de Angra I, de tipo “llave en mano” sin transferencia de tecnología. El posterior acuerdo en 1975 con Alemania para la construcción de Angra II, eliminó el sueño del desarrollo autónomo brasileño pero si introdujo al país al concierto de naciones de generación nucleoelectrónica.

Angra I entró en operación comercial en 1985 (657 MW de potencia) y Angra II (1350 MW de potencia), a pesar que su construcción comenzó en esa misma década entró en servicio comercial en el año 2000, luego de varias interrupciones. En la

²⁴⁸ RIBEIRO DE ANDRADE, Ana María; LOPES DOS SANTOS, Tatiane “Desafios Do Desenvolvimento Tecnológico Nuclear Autônomo” ANPUH – XXIII SIMPÓSIO NACIONAL DE HISTÓRIA – Londrina, 2005, pág. 2. (Traducción del autor)

²⁴⁹ Ibidem, pág. 4 (Traducción del autor)

actualidad se está construyendo Angra III, un proyecto también interrumpido en varias oportunidades que ha resurgido en los últimos años *“Al entrar en operación comercial en mayo de 2018, la nueva planta, con una capacidad de 1.405 MW, será capaz de generar más de 12 millones de megavatios-hora por año, suficiente para abastecer de energía las ciudades de Brasilia y Belo Horizonte durante el mismo período”*²⁵⁰

Todas las centrales nucleares son operadas por Electronuclear, una subsidiaria de Electrobras, un conglomerado de capitales mixtos encargado de gran parte de la generación eléctrica brasileña (hidroeléctrica, térmica y nuclear).

A pesar de tener la central nuclear más potente de Latinoamérica, la demanda energética brasileña es muy alta por lo que su participación comparativa con otras fuentes en la matriz energética brasileña es la más baja con apenas un 1%.

El porcentaje dentro de la matriz de generación eléctrica del país mantiene una variante importante para la energía hidroeléctrica, la cual genera cerca del 80% de la electricidad de país, seguida por la térmica (fósil) con el 17% mientras que la energía nuclear aporte menos del 3% de la electricidad nacional.

El país utiliza un porcentaje amplio de generación por biomasa, tecnología muy desarrollada en Brasil. La energía eólica aportó el 0,9% de la generación eléctrica, mientras la energía solar todavía no posee un porcentaje realmente representativo.

Brasil posee un futuro con variadas alternativas para desarrollar su matriz y también variarla. En primer lugar, los descubrimientos de petróleo en el mar le han incrementado ampliamente las reservas al país aunque la explotación de esta fuente requerirá de ampliar la tecnología y costos más altos para una explotación comercial exitosa.

La potencialidad de energías renovables es vasta aunque los costos todavía son altos y la demanda energética del país necesita de soluciones que otorguen alta capacidad de generación. En el corto-mediano plazo podrán aumentar este tipo de tecnología (eólica/solar/oceánica) pero su importancia no será crucial en la matriz. Más allá de poseer una explotación intensiva de sus recursos hídricos, el país mantiene una gran potencialidad de esta fuente, de cualquier tipo de tamaño, lo que le permite a futuro incrementar la producción energética.

La matriz energética con amplia presencia de energías limpias, pero muy dependiente de la generación hidroeléctrica tuvo consecuencias negativas a principios

²⁵⁰ <http://www.eletronuclear.gov.br/aempresa/centralnuclear/angra3.aspx> (Traducción del autor) (Consultada en Julio 2014)

de siglo cuando un período de sequía sumado a una infraestructura deficiente hicieron bajar el nivel de las reservas y consecuentemente aumentó la necesidad de importar energía. Si bien la situación ha cambiado, el país está tratando de reforzar la capacidad instalada para dar apoyo a la demanda y en especial para cubrir futuras bajas en la producción hidroeléctrica.

Esta política impulsa al desarrollo de la energía nuclear en el país, quien además de construir su tercer central está inmerso en programas de cooperación con Argentina para intercambiar y desarrollar I+D cooperativa. En un primer momento la colaboración bilateral tuvo por objetivo mantener políticas conjuntas relacionadas a la no proliferación “*En el marco de la histórica cumbre de Iguazú, en noviembre de 1985 [...] Argentina y Brasil se comprometieron a realizar un uso pacífico de dicha energía y a promover la mutua cooperación en el sector atómico.*”²⁵¹ Este camino siguió a través de las distintas presidencias a pesar de las reservas sobre el conocimiento que cada país tiene de sus tecnologías, las cuales son bastante distintas entre sí.

En 2011 se firmó un acuerdo entre ambos países donde se crea la Comisión Binacional de Energía Nuclear (COBEN) con el propósito de abastecer radioisótopos con finalidad medicinal y poder abastecer al mercado mundial “*Los reactores de investigación de la Argentina y del Brasil se destinarán a las mismas aplicaciones de producción de radioisótopos, de pruebas de irradiación de combustibles y materiales, y de investigación con haces de neutrones*”²⁵².

La cooperación dista de buscar un desarrollo binacional autónomo de producción nucleoelectrónica, sin embargo es un comienzo que a futuro puede obtener logros y beneficios para ambos países, en los cuáles son líderes regionales.

Cabe destacar que en materia de cooperación Brasil y Argentina han generado acuerdos ejemplares a nivel mundial. Luego de un arduo trabajo entre las partes, en el año 1991 se firmó el acuerdo que creó la Agencia Brasileño-Argentina de Contabilidad y Control de Materiales Nucleares (ABACC) “*Los tres pilares que guían el trabajo de la ABACC son la aplicación de salvaguardias, la formación de personal técnico e inspectores de la ABACC, y la cooperación técnica con las organizaciones en áreas relacionadas. La aplicación de salvaguardias, a través de inspecciones en la Argentina*

²⁵¹ LACOVKSY, Exequiel “La Cooperación Nuclear entre Argentina y Brasil” Revista U238, Año I, N° 3, Diciembre 2012, pág. 17.

²⁵² “Acuerdo de Cooperación entre la CNEA y CNEN sobre el proyecto de nuevo reactor de investigaciones multipropósito” art. 1º, Buenos Aires, 31 de enero de 2011.

y Brasil, permite la gestión del Sistema Común de Contabilidad y Control de Materiales Nucleares [...], están siendo utilizados exclusivamente para fines pacíficos.”²⁵³

La ABACC se ha transformado en un modelo internacional de agencia de control nuclear binacional. Con casi 25 años de funcionamiento, las dos naciones vecinas han forjado un control y colaboración poco usual, en una industria sensible en la cual predomina el recelo.

Finalmente, el crecimiento planificado de la energía nucleoelectrónica en el vecino país no hace pensar que haya una gran variación en cuanto a la presencia nuclear en la matriz “De acuerdo a fuentes relacionadas a la industria, Electronuclear planea construir como mínimo cuatro nuevas centrales nucleares (adicionales a Angra III) para el 2030 para comenzar a satisfacer el crecimiento previsto de la demanda de energía eléctrica de Brasil”²⁵⁴ Según World Nuclear Association, están planificados cuatro reactores en la región de Pernambuco y otros cuatro en la región de Minas Gerais, aunque no se planea que comience su construcción hasta 2020. Estos últimos datos evidencian que el accidente de Fukushima no ha modificado el interés del Estado por mantener el crecimiento de la energía nuclear como una alternativa válida para el país siempre dentro de los marcos de seguridad internacionales.

5.6 Caso Argentina

5.6.1 Historia del desarrollo nuclear en el país e I+D nacional

La historia del desarrollo nuclear argentino nació en 1950 a partir de la conformación de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) creada con la finalidad de otorgar un impulso e institucionalidad a las nuevas investigaciones relacionadas al átomo. Durante aquella primera época, científicos argentinos junto con el aporte de científicos extranjeros comenzaron a realzar importantes avances en esta materia. A tan sólo 8 años de la creación, los científicos de la CNEA lograron poner en funcionamiento el primer reactor experimental argentino y primero en Latinoamérica, el RA-1.

²⁵³ En http://www.abacc.org.br/?page_id=97&lang=es (consultada en octubre 2015)

²⁵⁴ En <http://www.eia.gov/countries/cab.cfm?fips=br> (Traducción del autor) (consultada en julio 2014)

Durante la siguiente década, la CNEA buscó mantener la incipiente autonomía alcanzada, por lo que profundizó investigaciones relacionadas al ciclo de combustible, minería, así como creó una infraestructura académica e industrial “*Se diseñan y construyen en el país los reactores de investigación RA-2 y de producción RA-3; se promueve la investigación y el desarrollo en metalurgia y se lleva a cabo la fabricación de los elementos combustibles para los nombrados reactores; se construye la primera planta convencional de producción de concentrado de uranio y otra de lixiviación en pilas; se desarrollan la producción y las técnicas de aplicación de radioisótopos en medicina, biología, industria y en el sector agropecuario, así como el uso de radiaciones ionizantes; y se encara, con medios propios, un estudio de factibilidad para la instalación de la primera central nucleoelectrica.*”²⁵⁵

La construcción de la primera planta nucleoelectrica requirió de la adquisición de tecnología extranjera, así se realiza una licitación que ganará Siemens para la construcción de una central tipo PHWR (Reactor de Agua Pesada Presurizada en español) de uranio natural (o levemente enriquecido) y agua pesada como moderador. Esta tecnología requirió la construcción de una planta que suministrara agua pesada la cual se ubicó en Arroyito, Neuquén. La central de Atucha I fue inaugurada en 1974, con una potencia de 357 MW, siendo la primera central atómica latinoamericana y el único reactor de agua pesada fabricado por Siemens.

Mientras se construía Atucha I, se realizaron planes para una segunda central, de mayor potencia. La licitación fue ganada por un consorcio italo-canadiense que suministraría la tecnología nuclear de Canadá conocida como CANDU (Canadian Uranium Deuterium), un sistema que también utiliza uranio natural y agua pesada como moderador, aunque mediante un sistema diferente al de Siemens. La central comenzó a funcionar en 1984 en la localidad de Embalse en Córdoba con una potencia de 648 MW.

Antes de que Embalse entrase en servicio ya se había iniciado la construcción de Atucha II, una central nuclear proyectada con 692 MW de potencia. La construcción de esta central demoró más de 30 años, por lo que al momento de reactivarse, Siemens (KWU) ya había abandonado la construcción de reactores nucleares. Por tal motivo la realización de esta central contó con una amplia participación argentina “*Es así como Atucha II se convirtió en el primer proyecto de una central nuclear en el país que se*

²⁵⁵ ORSTEIN, Roberto “El Desarrollo Nuclear Argentino: 60 Años de Una Historia Exitosa” Revista CNEA, Año 10, Nº 37-38, enero-junio 2010, pág. 9.

apartaba totalmente del esquema de contratación "llave en mano"".²⁵⁶ La central logró por primera vez la criticidad en junio de 2014 y alcanzó plena potencia el 18 de febrero de 2015.

En la actualidad está en proceso de construcción la Central Argentina de Elementos Modulares (CAREM-25) un reactor de desarrollo totalmente argentino, de baja potencia 25MW, aunque la tendencia global se sitúa en la fabricación de reactores de más de 1 GW, el proyecto nacional, que lleva más de 30 años, tiene un propósito específico *"Estos reactores tienen una gran proyección para el abastecimiento eléctrico de zonas alejadas de los grandes centros urbanos o polos fabriles con alto consumo de energía y ofrecen también otras prestaciones, como ser desalinización o provisión de vapor para diversos usos industriales"*²⁵⁷

El proyecto todavía está en etapa de construcción, pero posee la capacidad a futuro, una vez adquirida la curva de aprendizaje, se puede llevar la potencia a niveles medianos. *"el CAREM 25, el prototipo que vamos a montar en Lima, nos va a brindar todas las herramientas para escalarlo hasta 100 megavatios lo cual nos va a dar todos los parámetros técnicos para desarrollar el nicho entre 100 y 300 megavatios [...] Tener un reactor de estas características es una ventaja enorme, porque se podría hacer en poco tiempo y se podría modular, lograríamos incorporar módulos de 100, 150 megavatios en secuencias y obtener así una central de 500, 600 megavatios"*²⁵⁸

A estos proyectos se debe sumar los acuerdos firmados con China, por 15.000 millones de dólares, para la construcción de una cuarta y quinta central nuclear. *"[La cuarta central] Está previsto que la instalen en la localidad bonaerense de Lima, en la zona en que están los complejos de Atucha. Y el proyecto contempla la generación de energía a través de tubos de presión tipo CANDU -de desarrollo nacional- con una potencia de 700 Mw. La quinta central, que aún no tiene el lugar de emplazamiento definido, se prevé que funcione con uranio enriquecido y agua liviana, y genere una potencia de 1.000 Mw."*²⁵⁹ Según World Nuclear, la quinta central nuclear argentina será de tecnología china tipo Hualong One una versión moderna del clásico Reactor de Agua Presurizada (PWR por sus siglas en inglés).

²⁵⁶ Ibidem, pág. 11.

²⁵⁷ En <http://www.cnea.gov.ar/proyectos/carem/index.php> (Consultada en julio 2014)

²⁵⁸ LOIS, Marina "Entrevista a Mauricio Bisauta, vicepresidente de CNEA" Revista U238, Año 1, N° 2, Octubre 2012, pág. 17.

²⁵⁹ "A menos de un mes del cambio de mando, el Gobierno firmó con China millonarios acuerdos nucleares" Diario Clarín, 16 de noviembre de 2015, en http://www.clarin.com/politica/Gobierno-millonarios-acuerdos-nucleares-China_0_1468053549.html (consultado en noviembre 2015)

Se prevé que en la cuarta central la participación de componentes nacionales se encuentre en el rango del 70% mientras que en la quinta central nuclear se estima una cifra cercana al 50%.

El Estado posee una enorme intervención en lo concerniente a la energía nuclear. Desde la CNEA se controlan varios aspectos del ciclo del combustible como así también lo relacionado a la formación del cuerpo profesional. El manejo de las centrales le corresponde a Nucleoeléctrica S.A. empresa en manos mayoritariamente estatales *“Los accionistas de Nucleoeléctrica Argentina S.A. son el Estado Nacional a través de la Secretaría de Energía con el 79% de las acciones, la Comisión Nacional de Energía Atómica con el 20% y el Ente Binacional de Emprendimientos Energéticos S.A. con el 1%”*²⁶⁰

La seguridad en la operación de los reactores ha sido un tema clave, en especial debido a las consecuencias de un accidente de este tipo de fuente. En nuestro país ocurrió sólo un accidente fatal en el reactor experimental RA-2 *“El 23 de septiembre de 1983 mientras se llevaba a cabo un cambio de configuración del núcleo en el conjunto crítico del RA-2 tuvo lugar un accidente de criticidad. Este accidente causó la muerte de un operador por sobreexposición y dosis menores a las personas que se encontraban en la sala de control”*²⁶¹ El accidente ocurrió por una falla en el cumplimiento de los procedimientos por parte del operador que finalmente falleció. No hubo un escape radioactivo al exterior por lo que se ubicó en la escala 4 del ya mencionado sistema INES.

En los 65 años de historia que tiene la energía nuclear, esta ha crecido de manera constante, si bien durante un tiempo sufrió momentos de menor dinamismo, en especial durante los años '90. En la actualidad el proceso de reactivación ha contribuido enormemente a revertir esta situación y se puede vislumbrar un desarrollo mayor de forma autónoma o en cooperación con Brasil, gracias a los acuerdos celebrados por ambos países.

²⁶⁰ En <http://www.na-sa.com.ar/quienessomos> (Consultada en julio 2014)

²⁶¹ DORVAL, E.L. (et al) “Análisis del accidente Ocurrido en el Conjunto Crítico RA-2”

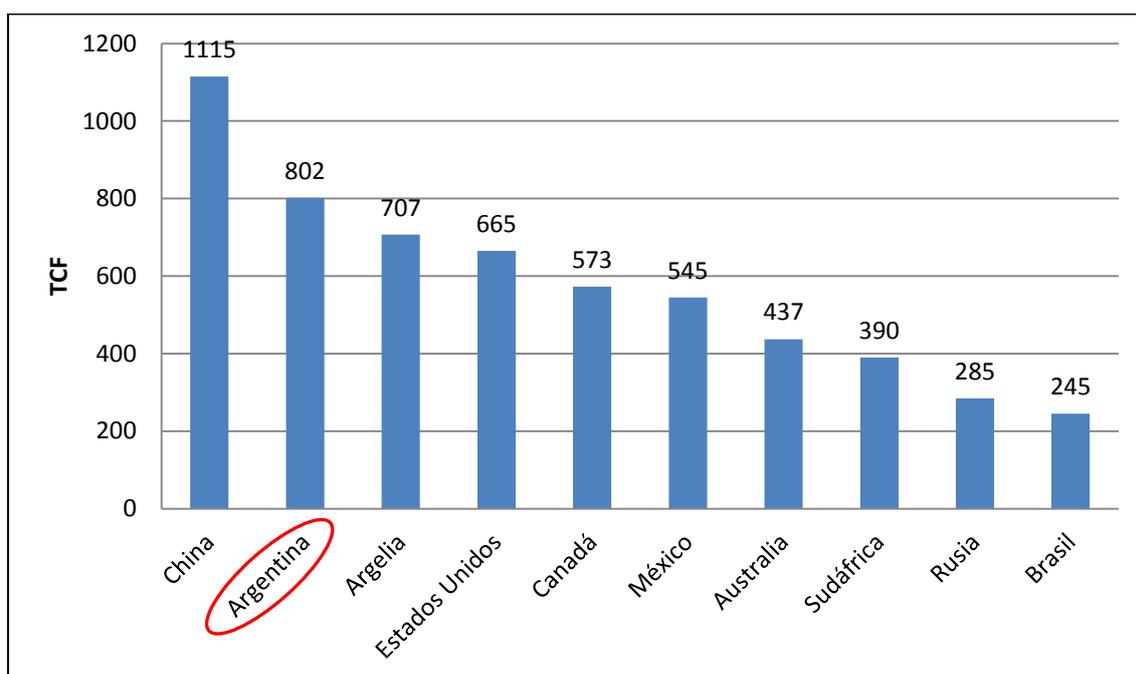
Instituto Balseiro, 2004, pág.1 en <https://579e1ad9-a-62cb3a1a-sites.googlegroups.com/site/desastresecologicos/nucleares/1983-09-23-buenosaires/documentos/IB-AnalisisaccidenteRA-2.pdf> (Consultada en julio 2014)

5.6.2 Análisis de la matriz energética argentina

Nuestro país mantiene, como la mayoría de los países, una matriz energética con una gran preponderancia de las fuentes convencionales fósiles. Este dominio no ha variado a lo largo de los años. La gran variación que sufrió es la mayor utilización de gas en detrimento del petróleo.

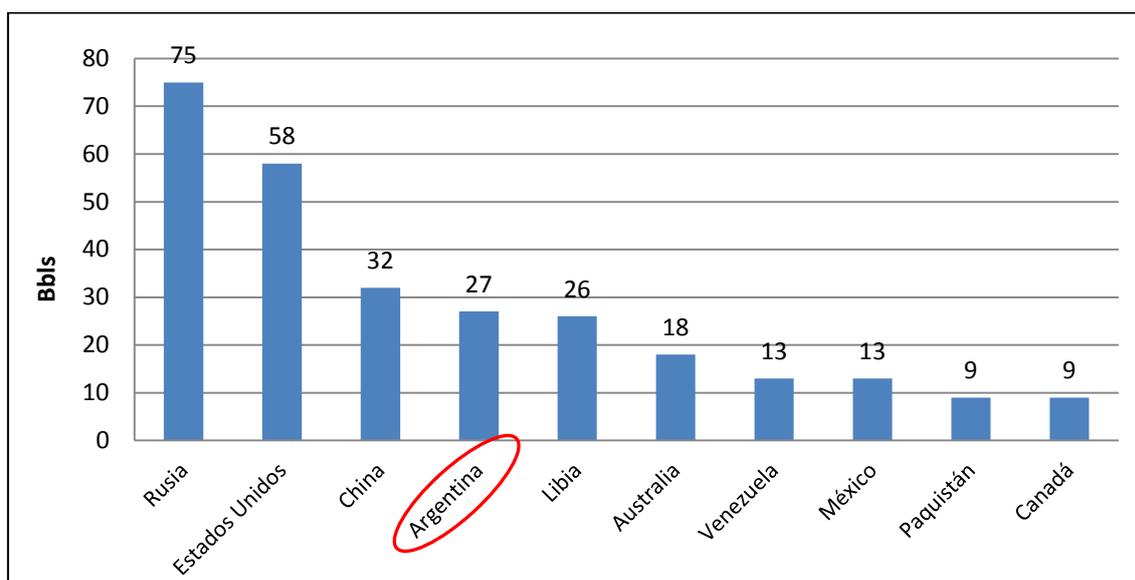
Específicamente estas dos fuentes no renovables han alcanzado su pico y pareciera mantener una tendencia en baja. La cuestión primordial ocurre por las posibilidades potenciales del país en materia energética. En el presente el país concentra su atención e interés, a nivel fuentes de energía, en la potencialidad del gas y el petróleo no convencional. Los estudios nacionales e internacionales ubican dicha potencialidad de los recursos no convencionales entre los más importantes a nivel global.

Gráfico 20 - Recursos de Shale Gas Técnicamente Recuperables-2013



Fuente: YPF. <http://www.ypf.com/energiaypf/Paginas/que-es-shale.html>

Gráfico 21 - Recursos de Shale Petróleo Técnicamente Recuperables-2013



Fuente: YPF. <http://www.ypf.com/energiaypf/Paginas/que-es-shale.html>

Esto significa que a mediano plazo Argentina puede revertir la curva descendente de producción de gas y petróleo²⁶². Pero los plazos no son inmediatos y la inversión necesaria para lograr la explotación de estos recursos es muy alta. De cara al futuro se requiere de una política elaborada de inversión y explotación mediante convenios con otras empresas.

Si el país mantiene en el tiempo la misma matriz energética requerirá, para no depender de las importaciones, del éxito de los no convencionales y de una política agresiva de exploración y explotación de nuevas cuencas tanto terrestres como marítimas. Para lograr el mencionado éxito en estas políticas, que deben ser largoplacistas irremediamente, es indispensable un enorme aporte de capital, el mismo se está realizando mayormente por empresas extranjeras. La situación de riesgo crediticio del país dificulta la posibilidad de lograr financiamiento externo a tasas razonables para llevar adelante sus propias inversiones.

Debido a fallas en la planificación energética el país perdió el autoabastecimiento energético, en la actualidad Argentina importa 10 Tw/h de electricidad guarismo que se mantiene en los últimos 7 años (con excepción del 2012

²⁶² Si bien algunas fuentes muestran un leve crecimiento en la producción, las cifras dadas por el Instituto Argentino del Petróleo y el Gas (IAPG) exhiben una caída en ambos.

que hubo una baja)²⁶³. Paradójicamente ante este déficit la matriz acentuó la preeminencia de los combustibles fósiles.

Las otras fuentes de la matriz energética, tienen una porción muy escasa de participación, lo cual genera un alto grado de incertidumbre a futuro.

El país posee un gran potencial en todas las tecnologías descriptas en el capítulo 4, sin embargo se plantea a corto-mediano plazo mantener la matriz sostenida por los pilares del petróleo y el gas, mientras que tímidamente se realizan avances en las otras tecnologías.

El plan de reactivación nuclear será un paso importante para revitalizar a una industria en la que el país es altamente valorado por sus desarrollos y científicos, convirtiéndose en exportador de tecnologías y consultor. El esfuerzo debería ponerse en acentuar la reactivación, que si bien ya comenzó con la finalización de Atucha II, se debe profundizar mediante los trabajos sobre la minería de uranio y el enriquecimiento leve del mismo, como así llevar adelante la tecnología, totalmente argentina, del CAREM 25 el cual ya se encuentra en las fases iniciales de implementación “*La primera fase de construcción estructural de la obra civil de la central nuclear Carem 25, primer reactor de potencia desarrollado íntegramente en Argentina, se inició el 8 de febrero [de 2014] en la localidad bonaerense de Lima.*”²⁶⁴

La energía nuclear permaneció bastante tiempo fuera del foco de atención a nivel generación energética, ese tiempo perdido tiene en la actualidad grandes consecuencias, pues los proyectos nucleares demandan gran cantidad de tiempo de planificación y ejecución. Claro ejemplo del aletargamiento ocurrido se vislumbra al medir la participación en la matriz eléctrica de la energía nuclear. Durante los años '90, según los datos de CAMMESA, llegó a representar el 14% de la energía eléctrica del país mientras que hacia el año 2013 representaba sólo el 4,4%²⁶⁵ Esto demuestra la necesidad de proseguir con la energía nuclear, a pesar de estar pasando un momento de cuestionamiento, a fin de continuar y aumentar su presencia en la matriz nacional para evitar conflictos a futuro relacionado con las fuentes fósiles.

La fuente nucleoelectrónica es la única energía de base, que no emite grandes cantidades de gases de efecto invernadero y no depende de fuentes susceptibles a

²⁶³ En <http://www.indexmundi.com/g/g.aspx?c=ar&v=83&l=es> (Consultado en noviembre 2015)

²⁶⁴ “Comenzó la construcción de la central nuclear Carem 25” en http://www.cnea.gov.ar/noticia.php?id_noticia=650 (consultada en julio 2014)

²⁶⁵ CAMMESA “Informe Anual 2013” Disponible en <http://portalweb.cammesa.com/memnet1/Pages/descargas.aspx> (Consultado en Junio 2014)

variaciones azarosas que puedan afectar la generación de energía. La otra fuente que podría llegar a ser de base y no tener estos problemas es la geotermal que en la actualidad no genera energía en el país, la central experimental Copahue está inactiva desde 1998. Según la Secretaría de Medio Ambiente está proyectada construir otra central geotérmica *“Está dentro de los proyectos del gobierno nacional la construcción de una central geotérmica "Copahue II" en las termas de Copahue (Neuquén) que generaría 100 megavatios (Mw)”*²⁶⁶ Lamentablemente los altos costos de esta tecnología y el bajo interés o conocimiento que se posee de la misma no permiten impulsar un mayor desarrollo acorde con el potencial nacional.

Por este motivo la energía nuclear posee un valor estratégico muy importante, aumentar la generación nuclear y depender cada vez menos de las fuentes fósiles evitaría al país la dependencia de sistemas comerciales susceptibles y oscilantes. Frente a una tendencia alcista a futuro es imperiosa la necesidad de desligarse al máximo nivel posible de la dependencia de los combustibles fósiles. Convirtiéndose la energía nuclear y sus futuros desarrollo una opción ideal para su reemplazo.

La energía hidroeléctrica es una tecnología con bastante historia en nuestro país. En la actualidad, según fuentes de la Secretaría de Energía de la Nación, existen 31 centrales hidroeléctricas de variada capacidad, siendo la que posee mayor potencial de generación Yacretá. Sin embargo, es una fuente cuyo potencial no está acabado aún. Se está proyectando la construcción de nuevas centrales en la provincia de Santa Cruz como así también se ha anunciado una en el Paraná Medio. La hidroelectricidad realiza un gran aporte a la estructura económico industrial del país, irónicamente a nivel matriz energética posee una porción inferior al 10%.

Existe en nuestro país un marco legal que favorece el desarrollo de energías renovables a partir de la promulgación, a fines del 2006, de la ley 26.190 en la cual se busca el desarrollo, implementación y la financiación de energía eléctrica por medio de fuentes alternativas. En su artículo 2º la ley expone su finalidad estratégica *“Se establece como objetivo del presente régimen lograr una contribución de las fuentes de energía renovables hasta alcanzar el OCHO POR CIENTO (8%) del consumo de energía eléctrica nacional, en el plazo de DIEZ (10) años a partir de la puesta en vigencia del presente régimen.”*²⁶⁷ Además de la mencionada ley nacional existen una

²⁶⁶ En <http://www.ambiente.gov.ar/?idarticulo=1278> (Consultada en julio 2014)

²⁶⁷ Ley 26.190, “Regimen De Fomento Nacional Para El Uso De Fuentes Renovables De Energia Destinada A La Produccion De Energia Electrica”, Buenos Aires, 27 diciembre 2006, en

numerosa cantidad de leyes provinciales con el fin de incentivar la utilización de energías renovables.

A pesar del marco legal uno de los problemas con los que debe lidiar nuestro país es de tipo económico financiero. La situación cambiaria y la falta de financiamiento externo son contextos que no favorecen el desarrollo local ni la implementación de tecnología extranjera en el país.

Si bien es necesario comenzar a incrementar el uso de fuentes energéticas renovables, a fin de aminorar el impacto ambiental de las fuentes fósiles, no todas ellas pueden ser fuentes de base, por lo que la energía eólica, oceánica y solar quedan relegadas a funciones secundarias. Es necesario incrementar la explotación de la energía hidroeléctrica tanto a gran escala como a pequeña. Por su parte, la energía geotérmica debería comenzar a desarrollarse e implementarse con mayor fuerza.

Aumentar la participación en la matriz es desarrollar el potencial, así como la energía hidroeléctrica y la geotérmica, la energía eólica teóricamente posee un potencial altísimo en nuestro país. *“Los especialistas han determinado que el potencial eólico de la Argentina supera los 2000 GW-Gigawatts-, esto es 100 veces la capacidad total instalada en el país sumando todas las fuentes”*²⁶⁸ La sumatoria de estas tres potencialidades más la oceánica en el futuro, podrían llegar a aportar la necesaria diversificación de la matriz.

El potencial oceánico se está midiendo en la actualidad para empezar a explotarlo en un lapso de largo plazo. A fines de 2014 se han instalado boyas para medir la potencialidad de las mareas y las corrientes en Santa Cruz *“Estamos explorando no sólo la producción, sino también el almacenamiento de energía. Es un proyecto de largo plazo, más de una década, pero esperamos poder proveer un 15% de la energía necesaria para el país con fuentes alternativas. Diez mil megawatts podrían venir del mar.”*²⁶⁹

<http://infoleg.mecon.gov.ar/infolegInternet/anexos/120000-124999/123565/norma.htm> (consultada julio 2014)

²⁶⁸ “Energía Eólica: La Argentina que no Miramos” Observatorio Petrolero Sur, Disponible en <http://www.opsur.org.ar/blog/2012/08/03/energia-eolica-la-argentina-que-no-miramos/> (consultada en julio 2014)

²⁶⁹ BÄR, Nora “Instalaron dos boyas frente a las costas patagónicas para medir la energía maremotriz” Diario La Nación, Buenos Aires, 16 de diciembre de 2014, en <http://www.lanacion.com.ar/1752811-boyas> (consultado en octubre 2015)

La tecnología carboeléctrica no tiene mucha raigambre en la matriz argentina, en el año 2015 se inauguró y conectó a la red eléctrica la central térmica alimentada por carbón en Río Turbio, con una potencia de 240MW, siendo la única de este tipo.

La gran cuestión sobre la matriz energética radica en la fuente gasífera. Si bien ha aumentado su producción este último año la tendencia en alza sobre la utilización de este elemento, sobre el cual no poseemos autoabastecimiento, ubica al país en una situación de dependencia, principalmente, del gas boliviano y de la estabilidad política de este país, ya en la década pasada ha sufrido varias crisis institucionales.

Mantener en alza la dependencia a la fuente gasífera sitúa desfavorablemente al país a nivel estratégico. Situación similar ocurre con el petróleo y sus derivados de los cuales poseemos dependencia. *“Durante el 2011, nuestro país tuvo que importar combustible en aproximadamente 9.400 millones de dólares, principalmente gas de la República de Bolivia y petróleo/fuel y gasoil de la Republica Bolivariana de Venezuela”*²⁷⁰

Las importaciones de gas en nuestro país se han multiplicado en los últimos 10 años manteniendo una tendencia ascendente pronunciada en los últimos 5 años. Mientras que en 2004 se importaban 0,79 miles de millones de m³, en 2014 la cifra ascendía a 11,8miles de millones de m³²⁷¹ (sumando el gas natural importado de Bolivia y el gas natural licuado procedente de ultramar –especialmente de Trinidad y Tobago y Argelia-). Consecuentemente cuando las importaciones comenzaron a tomar un crecimiento vertiginoso, en 2010 el gasto ascendió de 920 millones de dólares, ya en 2013 el costo de las importaciones era de 5460 millones de dólares.²⁷² El gas licuado trinitense y argelino es aún más costoso que el importado desde Bolivia debido al costo del flete y el proceso de licuefacción al que debe someterse para transportarlo en buques “metaneros” y la posterior regasificación.

El uso de la energía nuclear tendrá un impacto positivo desde el punto de vista de la disminución del gasto en importaciones *“Se calcula que cada futura central nuclear, incluida Atucha II, representa ahorros diarios para el país en importación de combustible líquido del orden de 1 millón y medio de dólares”*²⁷³

²⁷⁰ SOSA, Juan Carlos “Energía Nuclear y la Matriz Energética Argentina” Revista U238, Año 1, N° 5, Mayo 2013, pág. 31.

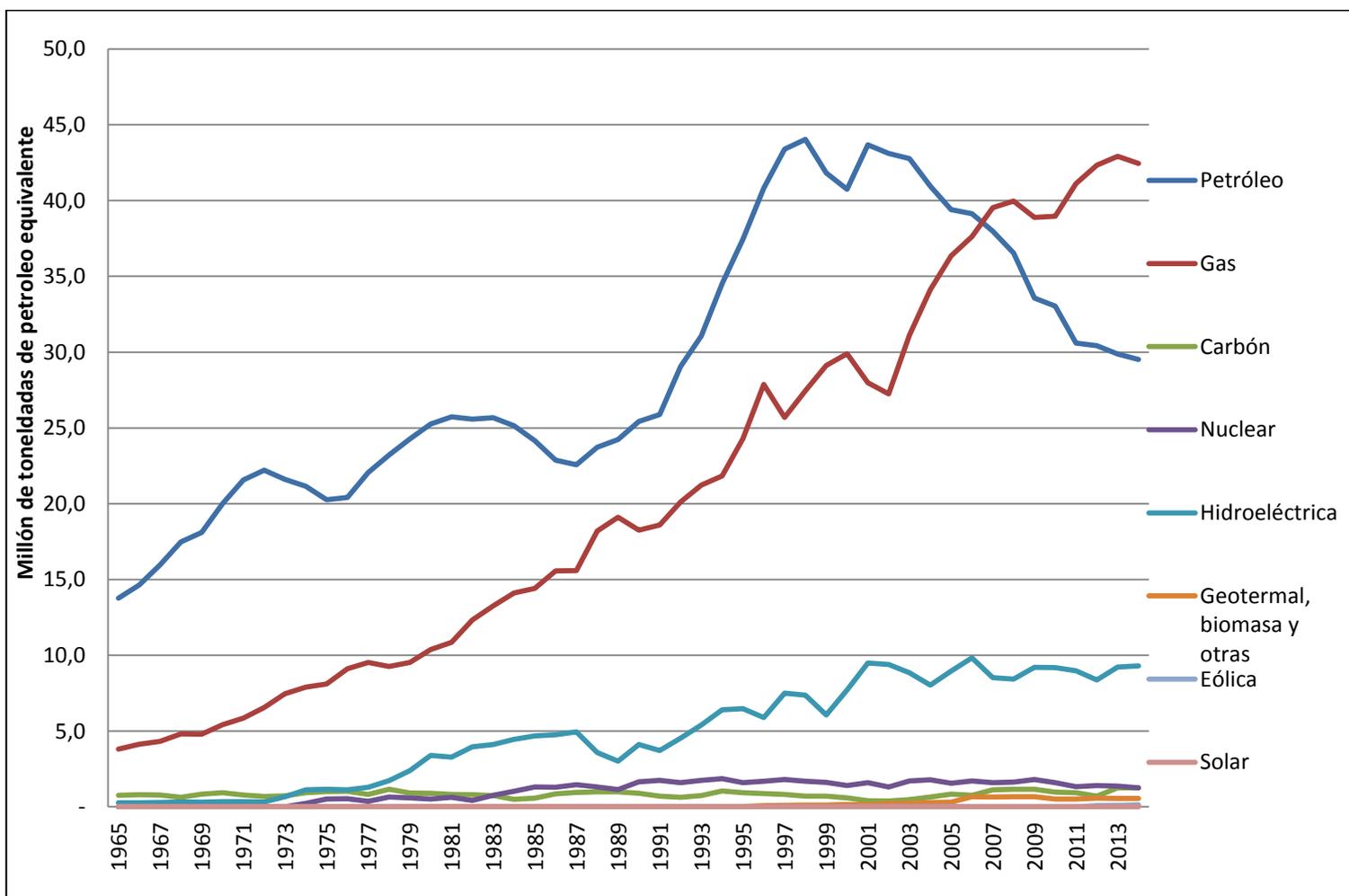
²⁷¹ En <http://www.iapg.org.ar/estadisticasnew/impoexporpais2.htm> (Consultado en mayo 2014)

²⁷² En <http://www.rionegro.com.ar/diario/funciones/popups/imagenes.aspx?idArt=1450020&tipo=2> (Consultado en mayo 2015)

²⁷³ En <http://npsglobal.org/esp/prensa/npsglobal-en-los-medios/1581-argentina-busca-consolidar-su-rol-como-potencia-nuclear.html> (Consultada en Agosto 2014)

Frente a este panorama es necesaria la intervención de la inteligencia estratégica para prever futuros escenarios del sector energético en el país. Esto requiere del planteamiento de políticas a largo plazo que estén por encima de los gobiernos de turno, que incluyan políticas de promoción de ciertas industrias, un marco legal que acompañe al proceso transformador, pautas económico-financieras que permitan el desarrollo, I+D nacional que sea complementaria al proceso, intervención de varias agencias relacionadas al tema, políticas de seguridad y militares para la defensa y el cuidado de los fuentes estratégicas de energía y cambio de hábito en la sociedad respecto al consumo energético.

Gráfico 22 - Consumo energético argentino según las fuentes 1965-2014



Fuente: BP "Statistical Review of World Energy 2015 Workbook" (Cuadro de elaboración propia)

5.6.3 La energía nuclear en el sistema interconectado nacional

La energía nuclear desde el inicio de actividades de la central de Atucha I ha contribuido con energía eléctrica al Sistema Interconectado Nacional (SIN). Por las características propias de esta fuente, la energía nuclear aporta siempre energía de base al SIN, es decir está todo el tiempo generando de manera casi constante energía, a diferencia de otras fuentes que se utilizan para cubrir la demanda pico energética “*La demanda de energía es abastecida primero con la energía Nuclear, debido a que este tipo de tecnología requiere un período largo de entrada y salida de funcionamiento, por lo que no es posible simplemente prenderlas y apagarlas. A continuación se utiliza la energía Hidroeléctrica de base (aquellas de menor costo operativo), la energía Térmica por contrato y la Spot, y finalmente la Hidráulica de punta.*”²⁷⁴

Ambas centrales nucleares han tenido un factor de disponibilidad alto a lo largo de su vida útil. Esto ha significado un gran aporte al SIN y evidencia la necesidad de contar con este tipo de centrales a fin de poseer industrias energéticas de base sólidas, necesarias para dar abasto con la demanda energética siempre en alza.

5.6.4 Proyección estratégica de la energía nuclear

La energía nuclear se ha reactivado con la finalización de la obra y puesta en marcha de Atucha II, la cual desde principios de 2015 está funcionando plenamente. Este incremento en la producción de energía de fuente nuclear no tendrá efecto hasta dentro de unos años, puesto que la central de Embalse en breve estará fuera de servicio, por un lapso proyectado de 21 meses, dado que se la someterá al proceso de extensión de vida. Se calcula que en el año 2016 a más tardar 2017 la central volvería a generar energía.

Argentina mantiene una tendencia positiva con respecto a la energía nuclear, esta perspectiva de crecimiento es sostenida a pesar del evento de Fukushima y mantiene la política de otros países de apostar a la expansión de la energía nuclear, aunque de forma más modesta. Esto no sólo se vislumbra con la extensión de vida de las centrales existentes y la puesta en marcha de Atucha II, también se vislumbra por lo expresado en la ley 26.566 en la cual en su artículo primero dice “*Decláranse de interés nacional las actividades de diseño, construcción, licenciamiento, adquisición de bienes*

²⁷⁴ BARRETO RODRÍGUEZ, Juan Marcelo “Impacto Económico en el Sector Energético y Evaluación de Riesgos de la Extensión de vida de la Central Nuclear Embalse” Dirección Dr. Dino Otero, Tesis de Maestría en Administración de Negocios, UTN, Buenos Aires, 2011, pág. 52.

y servicios, montaje, puesta en marcha, marcha de prueba, recepción y puesta en servicio comercial, de una cuarta central de uno o dos módulos de energía de fuente nuclear a construirse en la República Argentina”²⁷⁵ para luego permitir que se arbitren los elementos e instancias necesarias para la construcción de una cuarta central (de uno o dos reactores), como así también ejecutar el proyecto nacional CAREM y extender la vida de la Central de Embalse. Esta ley, sancionada a fines de 2009, que en la actualidad se sigue plasmando, exhibe la voluntad de ampliar la participación de este tipo de energía en la matriz Argentina.

Las proyecciones a largo plazo vislumbran un aumento del aporte de la fuente nuclear a la matriz, a las tres centrales se le sumará una cuarta, el proyecto CAREM con sus futuros desarrollos y hasta una quinta central. Se proyecta además sumar la tecnología tipo PWR de uranio enriquecido “*La energía nuclear tiene una potencia instalada de 1010MW entre Atucha I y Embalse [...] Cuando Atucha II comience a operar sumará 745MW. El gobierno aspira a una cuarta central que tenga dos módulos de 760MW cada uno. Además el plan oficial contempla la construcción de una quinta central de uranio enriquecido y agua liviana, también de dos módulos. En ese tipo de reactores, la potencia es mayor y se calcula que cada uno puede sumar 1200 MW. Por lo tanto, si a la potencia instalada actual se le incorporan esos cuatro módulo proyectados se llegaría a 5675 MW*”²⁷⁶

De cumplirse lo proyectado, se estima un crecimiento importante de cara al futuro en lo relacionado a la energía nucleoelectrica con un dominio de ciclo de combustible casi completo. Para lograr completar el ciclo debe recomenzar la minería de uranio y profundizar las perspectivas de crecimiento referidas a la industria que rodea la energía nuclear, desde los procesamientos de combustibles a la construcción y siderurgia.

No debe perderse de vista que de implementarse todos los proyectos citados aumentará la participación de la energía nucleoelectrica en la matriz, pero con el aumento de la demanda estimada, el porcentaje será todavía bajo lo que deja abierta una incógnita a futuro sobre la independencia energética nacional.

Por otro lado, nuestro país se ha convertido en un importante exportador y proveedor de tecnología nuclear. Desde 2007 se encuentra en funcionamiento el reactor

²⁷⁵ Ley 26.566 “De Actividad Nuclear”, Buenos Aires, 17 de Diciembre de 2009, art. 1°.

²⁷⁶ KRAKOWIAK, Fernando “Lo Nuclear como Opción de Cambio” Revista U238, Año 2, N° 7, septiembre-Octubre 2013, pág. 14.

construido por INVAP en Australia, lo que realmente ha marcado un hito en la historia nuclear argentina. Además de exportar radioisótopos a diferentes países la industria ha dado otro paso en su avance “*Ahora INVAP, la empresa nacional de bandera en alta tecnología, cerró un contrato con Coquí Pharma de Estados Unidos para diseñar y construir dos reactores y una planta para el procesamiento de radioisótopos en la Florida*”²⁷⁷ Estos proyectos sumado a otras colaboraciones solicitadas por otros países²⁷⁸ no hace más que consolidar la posición de país exportador de tecnología nuclear; formando parte de un selecto grupo de países que realizan esta actividad.

5.7 Comparación de las matrices

En la siguiente comparación se podrá vislumbrar las diferentes características de la matriz energética de los países descriptos anteriormente.

- ²⁷⁷ ARGÜELLO, Irma “Argentina entre los grandes proveedores globales de reactores nucleares” Diario Tiempo Argentino, 24 de diciembre de 2014, en <http://tiempo.infonews.com/nota/141077/argentina-entre-los-grandes-proveedores-globales-de-reactores-nucleares> (consultada octubre de 2015)

²⁷⁸ Como ser el caso de Perú, al cual se le proveerá del combustible para los reactores que ya posee, de diseño argentino también.

Comparativo de Matrices Energéticas

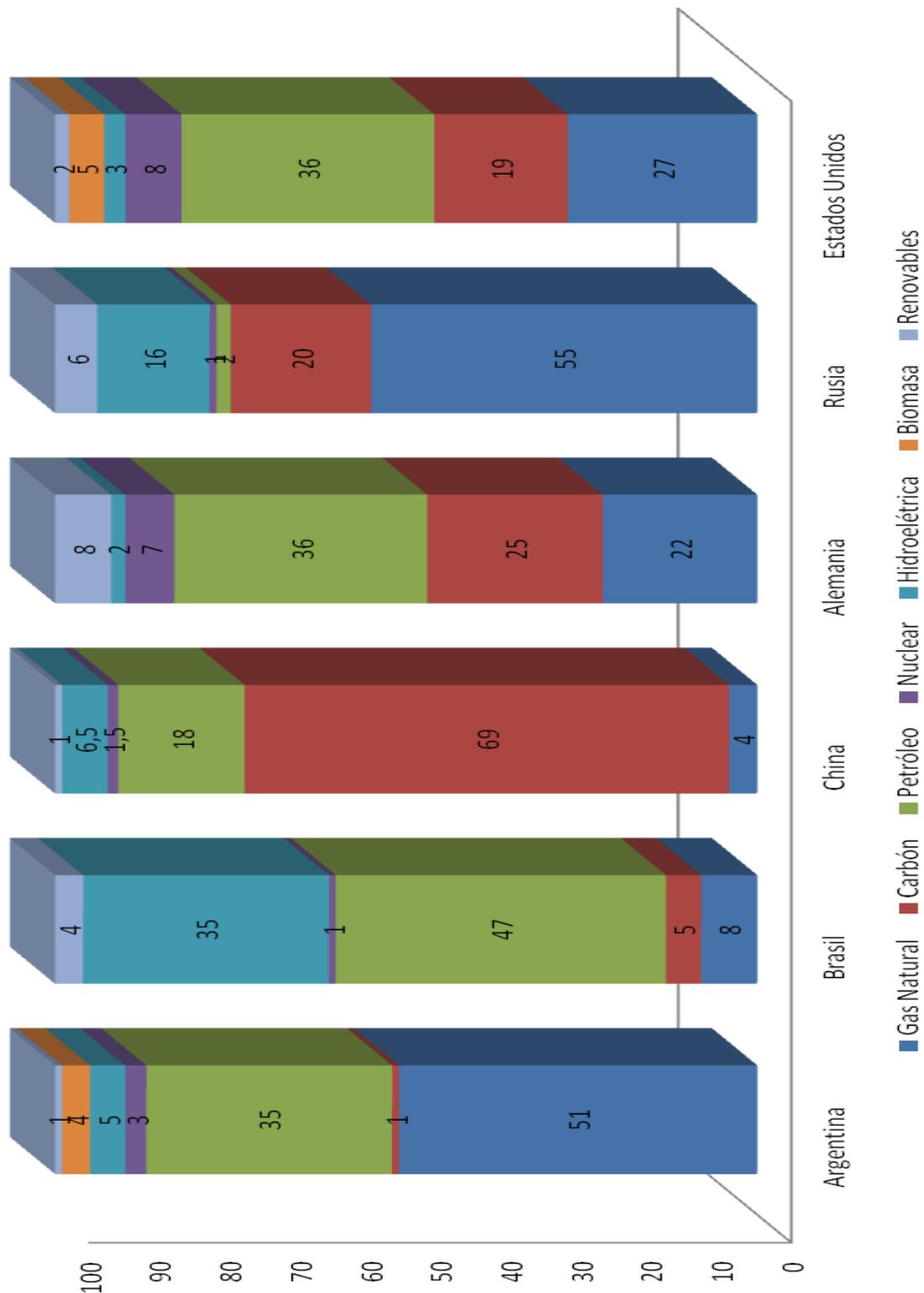


Gráfico 23 – Matrices energéticas de casos testigos comparadas.

Fuentes: Cuadro realizado por el autor, en base a varias fuentes (Secretaría de Energía de la Nación, US Energy Information Administration, euanmeans.com, y powertecnrussia.com) sobre matrices energéticas entre los años 2007 a 2013

6 Análisis Estratégico de la Energía nuclear a futuro

“Una Nación que no controla sus fuentes de energía no controla su futuro”

Barack Obama “La Audacia de la Esperanza” pág. 183

6.1 *Inteligencia estratégica y energía*

Desde tiempos antiguos se utilizó la inteligencia para adelantarse a la posible ocurrencia de eventos y así poder estar preparados para ellos. La utilización de información que pueda ser útil para prevenir futuros problemas, advertir comportamientos y/o sacar ventaja de situaciones se aplicaron desde las esferas de poder en diversas culturas como el Egipto antiguo, China, Grecia y el Imperio Romano como para citar algunos ejemplos organizados “*La inteligencia no siempre ha sido tan importante o tan ubicua como es hoy. Por supuesto, los gobernantes en todo momento la han utilizado, e incluso han rendido homenaje a la misma*”²⁷⁹. Esto no significa que tuvieran áreas dentro del estado específicamente para realizar todas estas funciones pero de un modo u otro las realizaban.

Con el transcurso del tiempo los estados comenzaron a concentrar estas funciones, en especial dentro de la esfera militar, pues el pensamiento estratégico generalmente se centraba en cuestiones bélicas. Promediando el siglo XX la inteligencia estratégica se mantenía casi exclusivamente en el ámbito militar. Las siguientes décadas marcaron la apertura del campo de acción de la inteligencia estratégica, esto no significó un deslinde de lo militar sino una ampliación de su rango de intervención.

El gran salto que comenzó a gestarse durante el pasado siglo provino del avance en la metodología analítica de esa información la cual era cada vez más vasta y por tanto más difícil de procesar y utilizar. En el presente, la información es aún más vasta lo cual es favorable, pero al momento de tener que aplicar estas metodologías analíticas se requiere una selección de información precisa por un lado y se complica la aplicación de las metodologías de análisis adecuadas por otro.

La cuestión de las definiciones de inteligencia estratégica es un problema en sí mismo pues las definiciones existentes son casi tan vastas como los autores que escriben sobre esta temática. Sin embargo todos tienen puntos de coincidencia

²⁷⁹ GILL, Peter; MARRIN, Stephen; PHYTHIAN, Mark “Intelligence Theory. Key Questions and Debates” Routledge, Nueva York, 2009, pág. 4 (Traducción del autor)

especialmente en la longitud temporal que tiende a estudiar, temáticas de carácter estructural y la generación de posibles escenarios futuros.

Todo esta información que reúne la actividad de inteligencia para el fin que se persiga siempre es conocimiento, en palabras de Sherman Kent *“la inteligencia estratégica es una extensión de esa búsqueda [de una mejor respuesta] hacia un conocimiento útil”*²⁸⁰ Si bien Sherman Kent realiza análisis profundo de la inteligencia estratégica hoy varios de sus conceptos quedaron envueltos en un contexto distinto al actual, aunque no por eso han perdido toda su vigencia.

Actualmente el concepto de inteligencia estratégica mantiene la esencia presentada por Sherman Kent en sus libros aunque adaptado a las necesidades propias de nuestro tiempo. Todos los Estados utilizan la inteligencia estratégica a favor de la defensa de sus intereses, tornándose en un elemento crucial para la toma de decisiones y las políticas a futuro. Es una herramienta potente para dilucidar los temas claves de largo plazo *“La inteligencia estratégica está más preocupada por el examen de los problemas de una manera que proporciona la comprensión de la estructura, el propósito y la naturaleza del tema, para que las organizaciones puedan desarrollar planes integrales para abordarlos”*²⁸¹

La inteligencia estratégica utilizada en su máximo provecho es una herramienta extremadamente útil a los fines de poder diseñar una política acorde a los panoramas previstos *“La inteligencia estratégica es un proceso, un medio para un fin. Ese fin es la seguridad y el mantenimiento o la mejora de la ventaja relativa. La teoría general que explica que la necesidad y la persistencia de las agencias de inteligencia, es la que [también] explica la prevalencia de las amenazas e incertidumbres, que la inteligencia existe para proporcionar una alerta temprana con el fin de garantizar que las amenazas potenciales no se traduzcan en reales.”*²⁸²

Si bien está íntimamente relacionada a los Estados, las grandes corporaciones globales poseen un área de inteligencia empresarial, y utilizan los métodos y las técnicas de la inteligencia estratégica a los fines de planificar los cursos de acción futuros *“La Inteligencia estratégica sirve para entender cómo le está yendo a una compañía y cómo*

²⁸⁰ KENT, Sherman “Inteligencia Estratégica para la Política Mundial Norteamericana” Círculo Militar, Buenos Aires, 1951, pág. 9.

²⁸¹ MCDOWELL, Don “Strategic Intelligence. A Handbook for Practitioners, Managers, and Users” The Scarecrow Press, Lanham, 2009, pág. 21. (Traducción de autor)

²⁸² GILL, Peter; MARRIN, Stephen; PHYTHIAN, Mark Op. Cit. pág. 67

puede mantener su competitividad a largo plazo de cara a los futuros retos y cambios”²⁸³

No solo la inteligencia estratégica dejó de ser una cuestión meramente estatal, sino que en muchas ocasiones ambas inteligencias se comportan de manera complementaria. No son pocos los contactos entre la inteligencia estratégica del Estado y la empresarial y viceversa, a fin de ayudarse mutuamente mediante el intercambio de información y obtener mejores resultados en relación a sus intereses.

La gestación de políticas públicas, pensadas a largo plazo, relacionadas a algún tipo de tópico, se encuentra dentro de las actividades propias de la inteligencia estratégica.

Dado que la vida moderna posee una dependencia tan fuerte de la energía, ésta se ha vuelto un tema de relevancia mundial, más aun con la variedad de posibilidades de generación existentes y especialmente por la relevancia de los combustibles fósiles (finitos) para la generación de la misma.

Debido a esta importancia crucial que posee la generación energética es indispensable la utilización de la inteligencia estratégica para concebir posibles panoramas futuros de acuerdo al análisis de variables. A partir de la prognosis realizada por los Estados, los decisores tienen un instrumento para modificar las políticas, de ser necesario, y adaptarse a los requerimientos que estos panoramas exijan.

Se tiende a situar los intereses de la inteligencia estratégica en posibles conflictos con otros Estados, o actores modernos como las “nuevas amenazas”²⁸⁴ sin embargo un claro menester de la actividad es el estudio pormenorizado de los panoramas energéticos a mediano y largo plazo, pues de ellos pueden desprenderse crisis económicas, sociales y/o conflictos con otros Estados entre otros problemas.

Un Estado no puede “darse el lujo” de tener falencias graves en su matriz energética pues estas derivan en costos económicos-sociales, para ello no sólo basta con una política estratégica energética pues hoy en día la planificación de la matriz energética abarca muchas más áreas que la estrictamente energética.

La repartición estatal que se encarga de realizar inteligencia estratégica posee una visión que trasciende lo meramente energético (para lo cual se necesita de una

²⁸³ SEITOVIRTA, Laura Camilla “The Role of Strategic Intelligence Services in Corporate Decision Making” Aalto University, Department of Management and International Business, 2011, pág. 12 (Traducción del autor)

²⁸⁴ Comúnmente se conoce como nuevas amenazas al terrorismo, narcotráfico, lavado de activos, trata y tráfico de personas y al delito organizado transnacional.

interrelación profunda con el ámbito estatal encargado de la temática energética) pues engloba los diversos aspectos que pueden afectar otras áreas tales como economía, defensa, seguridad, relaciones internacionales, medio ambiente, industria y educación.

Un Estado no puede llevar adelante una política estratégica energética a partir del mero análisis de la repartición encargada de la temática de energía pues este análisis, si bien es muy importante es incompleto. La información analizada pero segmentada tiende a no ser útil a los fines para los cuales se realiza, la visión global pone en perspectiva los temas y es una eficaz ayuda para el decisor.

A diferencia de la inteligencia táctica, la estratégica no posee la premura temporal de la primera, lo cual en principio puede llegar a ser una ventaja, pero tiende a tener un caudal de información para analizar mucho mayor. A su vez, las respuestas que se realicen en base a la inteligencia estratégica pueden demorar años como así también una gran inversión de dinero y cambios profundos.

Un ejemplo claro al respecto se puede vislumbrar en la matriz energética global, de mantenerse estos parámetros globales el mundo se dirige inevitablemente a una crisis energética en un largo plazo. Los Estados son conscientes de ello, en especial los países industrializados, por lo que están desarrollando e implementando gran variedad de cambios en diferentes ámbitos relacionados a la energía a fin de poder variar la matriz.

En definitiva, todos los Estados requieren de una planificación a nivel estratégico del sector energético por lo que necesitan de la asistencia analítica de la inteligencia a fin de poder enfrentar y dar respuesta a los grandes desafíos que imponen los futuros escenarios globales.

6.2 Análisis de las fuentes de energía

A lo largo del capítulo 4 se han descripto la mayoría de las tecnologías de generación energética, teniendo en cuenta ciertos parámetros a medir en cada una de ellas. La inteligencia estratégica debe tener consideraciones comparativas de cada una de ellas y ponerlas en perspectiva largoplacista a fin de crear una herramienta analítica útil para los decisores.

Dentro de las metodologías analíticas –en este caso- el análisis FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas) es una de las formas más claras de presentar los datos

6.2.1 FODA

Tabla 10 – Análisis FODA de fuentes de generación de energía

CARBÓN			
Fortalezas	Debilidades	Amenazas	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> -Posee reservas para más de un siglo. -La utilización de esta fuente requiera de bajo costo de capital inicial. -Costo de mantenimiento bajo. -Fuente no susceptible a grandes fluctuaciones en sus precios -Precios mundiales en baja. -No requiere mano de obra muy especializada. -Tecnología accesible a cualquier tipo de país, en especial los menos desarrollados. -No es un recurso por el cual se hayan librado grandes conflictos internacionales recientemente. 	<ul style="list-style-type: none"> -Es la fuente con mayor impacto ecológico. -Baja eficiencia de las plantas. -La minería del carbón posee mayor cantidad de accidentes y muertes por KW. -Alta percepción social sobre la contaminación de la tecnología carboeléctrica. 	<ul style="list-style-type: none"> -Endurecimiento a nivel global de las normativas por emisión de carbono. -Aumento de impuestos relacionados a la emisión de gases de efecto invernadero. -Rápidos desarrollos de energías alternativas. -Amplio desarrollo de la tecnología gasífera y su correspondiente desarrollo de mercado. -Grandes crisis económicas mundiales. 	<ul style="list-style-type: none"> -Desarrollo de tecnología de captura y almacenamiento de carbono. -Mejora en la eficiencia de las plantas carboeléctricas (menos contaminantes) -Grandes inversiones en I+D. -Alzas en los precios del gas y petróleo -Caída en la demanda de energía nuclear. -Demora en el desarrollo de las tecnologías de fuentes renovables. -Demanda global creciente. -En el largo plazo continuará con reservas cuando el gas y el petróleo estén agotados.

			-Aumento de la demanda en China y en países con muy alto índice de desarrollo.
--	--	--	--

PETRÓLEO			
Fortalezas	Debilidades	Amenazas	Oportunidades
<p>-Es la industria de energía mejor posicionada en el mercado.</p> <p>-Poderoso lobby industrial (Las 7 de las grandes empresas petroleras se encuentran entre las 20 empresas más importantes del mundo).</p> <p>-Es indispensable para el desarrollo humano.</p> <p>-Tecnología que llevas décadas desarrollada.</p> <p>-La industria petrolera es la gran empleadora de las fuentes de energía.</p> <p>-Posee el monopolio casi exclusivo del transporte.</p> <p>-Industria con un fuerte poder</p>	<p>-Industria Contaminante.</p> <p>-Accidentes con graves consecuencias ecológicas de gran impacto mediático.</p> <p>-Es la industria que más aporta gases de efecto invernadero a la atmósfera.</p> <p>-Inestabilidad de precios a nivel global.</p> <p>-Industria con una mala percepción social.</p>	<p>-Alcance del pico de Hubbert.</p> <p>-Disminución en la producción.</p> <p>-Incremento inevitable de precios a futuro.</p> <p>-Futuros embargos por parte de países productores/exportadores de petróleo.</p> <p>-Aplicación de normativas más estrictas sobre la operatoria de la industria petrolera y derivados.</p> <p>-Crecimiento de otros combustibles como fuente alternativa.</p> <p>-Grandes crisis económicas mundiales.</p> <p>-Incremento de los</p>	<p>-Explotación de los yacimientos no convencionales.</p> <p>-Expansión en la exploración y explotación de nuevos campos.</p> <p>-Alza de precios a corto/mediano plazo.</p> <p>-Desarrollos de nuevas tecnologías de rejuvenecimiento de pozos.</p> <p>-Apuestan a desarrollos alternativos (Biocombustibles) para seguir posicionadas.</p> <p>-Aumento de la demanda en China y en países con muy alto índice de desarrollo.</p>

<p>financiero.</p> <p>-Tecnología establecida en todo el mundo.</p> <p>-No posee normativas que limiten o controlen su explotación.</p> <p>-Posee una enorme cantidad de subproductos que se utilizan en gran variedad de industrias.</p> <p>-Enorme aporte de capital a la I+D en una amplia franja de investigaciones.</p>		<p>cuestionamientos de los sectores ecologistas a la industria.</p> <p>-Alta conflictividad internacional por la posesión del recurso.</p> <p>-Los grandes países productores se encuentran en zonas de alta conflictividad.</p>	
--	--	--	--

GAS NATURAL			
Fortalezas	Debilidades	Amenazas	Oportunidades
<p>-La mayoría de las empresas petroleras son gasíferas por lo que posee las mismas fortalezas relacionadas a lo empresarial.</p> <p>-Mayores reservas comprobadas con respecto al petróleo.</p> <p>-Valores más bajos.</p>	<p>-Es una fuente de emisión de gases de efecto invernadero.</p> <p>-Precios susceptibles a grandes variaciones.</p> <p>-Graves accidentes en plantas y gasoductos, exponen a la industria.</p>	<p>-Es un recurso finito y a futuro su escasez estará ligada a un inevitable aumento excesivo de precios.</p> <p>-Grandes crisis económicas mundiales.</p> <p>- Futuros embargos por parte de países productores/exportadores</p>	<p>-Potencialidad para ser uno de los reemplazantes de los combustibles automotrices.</p> <p>-Aumento de la rentabilidad por el incremento del precio a corto/mediano plazo que beneficiará a la industria.</p> <p>-Incremento de las reservas</p>

<ul style="list-style-type: none"> -Menores emisiones contaminantes. -Reemplazante del petróleo para la generación eléctrica. -Dentro de las fuentes fósiles posee mayor aceptación por parte de grupos ecologistas. -Desde hace pocas décadas se ha incrementado su utilización en diversas funciones claves. -La generación de electricidad es más eficiente. -Sirve de respaldo a otras tecnologías generadoras (como la solar) 		<p>de gas.</p> <ul style="list-style-type: none"> -Conflictos internacionales por la posesión del recurso. 	<p>merced a la utilización de gas no convencional.</p> <ul style="list-style-type: none"> -Las empresas poseen grandes presupuestos destinados a I+D.
--	--	---	--

ENERGÍA HIDROELECTRICA			
Fortalezas	Debilidades	Amenazas	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> -Alto grado de eficiencia en la generación eléctrica. -Posee una gran variedad de diseños y tamaños que se 	<ul style="list-style-type: none"> -Depende de la variación hídrica de los ríos, siendo susceptible a sequías. (La imprevisibilidad de esto se agrava por el cambio climático) 	<ul style="list-style-type: none"> -Oposición de las poblaciones a la instalación de una represa. -Aparición de normativas de control de emisiones, impacto de 	<ul style="list-style-type: none"> -Casi todos los grandes países del mundo tienen la potencialidad de aplicarla. -Crecimiento en la demanda de

<p>amoldan al requerimiento hidrográfico.</p> <p>-Muy alta duración de vida útil de las represas.</p> <p>-Es una forma de generación segura.</p> <p>-Bajo costo de operación y mantenimiento.</p> <p>-Baja huella de carbono durante la operación.</p> <p>-La fuente generadora no es un commodity comercializable.</p> <p>-Además de la generación puede servir para otras funciones (control de inundaciones, riego y recreación)</p> <p>-Puede mantener la alta eficiencia de generación durante prolongados períodos de tiempo.</p> <p>-La realización de las obras no requiere de grandes controles internacionales</p>	<p>-Alto costo de capital inicial. Las grandes represas poseen altísimos costos.</p> <p>-Genera modificación en el entorno geográfico y ecosistema.</p> <p>-Puede generar desplazamientos de población.</p> <p>-Rechazo en las poblaciones cercanas.</p> <p>-La instalación de las represas debe hacerse en lugares específicos.</p> <p>-Las represas, en especial las grandes, emanan gases tóxicos, tienen efectos ecológicos adversos.</p> <p>-Pueden afectar la salud de la población</p> <p>-Accidentes graves de las represas tiene consecuencias catastróficas.</p>	<p>fauna y sedimentos.</p> <p>-Acentuación de los efectos del cambio climático, afectando el comportamiento de los caudales.</p> <p>-Conflictos entre varios países por obras conjuntas o que afectan a países río abajo.</p>	<p>electricidad.</p> <p>-La mayoría de los países en vías de desarrollo apenas utilizó esta tecnología.</p> <p>- Las represas pueden incrementar la capacidad de generación a lo largo de su vida útil varias veces.</p>
--	--	---	--

-Generación mínima de residuos.	-Proyectos de largo plazo de realización.		
---------------------------------	---	--	--

ENERGÍA EÓLICA			
Fortalezas	Debilidades	Amenazas	Oportunidades
<p>- La fuente generadora no es un commodity comercializable.</p> <p>-Energía libre de emisión de gases de efecto invernadero.</p> <p>-Es versátil, puede ser instalada sobre el mar o tierra.</p> <p>-Bajo costo de capital inicial y de mantenimiento.</p> <p>-Gran aceptación social sobre este tipo de fuente de energía.</p> <p>-Se adapta a las necesidades (de pocas unidades a grandes granjas eólicas)</p> <p>-Varios países poseen a la energía eólica como una fuente importante para la generación.</p>	<p>-No realiza generación continua de energía. (la velocidad del viento necesaria no es continua)</p> <p>-Bajo factor de capacidad.</p> <p>-Depende de un elemento con grandes variaciones.</p> <p>-Las zonas de utilización son limitadas.</p> <p>-Poco eficiente.</p> <p>-Todavía es una generación de alto costo en comparación con otras tecnologías. (por su bajo factor de capacidad)</p> <p>-Tiempo estimado de vida es bajo.</p> <p>-Necesita de grandes terrenos</p>	<p>-El lobby poderoso de las industrias de fuentes fósiles.</p> <p>-Que los valores de generación no se tornen competitivos en el corto/mediano plazo.</p> <p>-Rechazo de las poblaciones cercanas a un parque eólico.</p> <p>-Cambio en las normativas que resulten en un encarecimiento de la generación.</p> <p>-Bajo precio de otras fuentes, sean fósiles o renovables.</p>	<p>-Aumento de las regulaciones ambientales.</p> <p>-Posee un gran potencial de desarrollo a en todo el mundo.</p> <p>-Los generadores poseen cada vez más capacidad.</p> <p>-A mejores generadores, menores costos de electricidad.</p> <p>-Se están desarrollando tecnologías de almacenamiento de energía eólica que se implementarán en el corto plazo.</p> <p>-Utilizar las políticas de incentivo estatales de instalación de energías renovables.</p>

<p>-Gran crecimiento sostenido de la industria durante la última década.</p> <p>- No se registran graves accidentes relacionados al ciclo de vida de esta tecnología.</p> <p>-El valor del kw/h se encuentra en baja.</p>	<p>para instalarse.</p> <p>-Impacto visual.</p> <p>-Las plantas eólicas marítimas son muy costosas.</p> <p>-Es una tecnología relativamente nueva.</p> <p>-Para mejorar la eficiencia se requiere de infraestructuras de almacenamiento.</p>		
---	--	--	--

ENERGÍA SOLAR			
Fortalezas	Debilidades	Amenazas	Oportunidades
<p>-Tecnología libre de emisión de gases de efecto invernadero.</p> <p>-La fuente generadora no es un commodity comercializable.</p> <p>-Variedad de tecnología de aplicación que se amoldan a diferentes necesidades.</p> <p>-Puede utilizarse de forma individual en propiedades particulares.</p>	<p>- No realiza generación continua de energía (deja de funcionar a la noche).</p> <p>-Bajo capacidad de generación.</p> <p>-Las granjas solares requieren de gran superficie de terreno.</p> <p>-Depende del comportamiento climático.</p> <p>- Las zonas de utilización son</p>	<p>- El lobby poderoso de las industrias de fuentes fósiles.</p> <p>-Que los valores de generación no se tornen competitivos en el corto/mediano plazo.</p> <p>-Cambio en las normativas que resulten en un encarecimiento de la generación.</p> <p>-Bajo precio de otras fuentes, sean fósiles o renovables.</p>	<p>-Aumento de las regulaciones ambientales.</p> <p>-Puede utilizarse a futuro como fuente alternativa para la industria del transporte.</p> <p>-Nuevas desarrollos permitirán la aplicación hogareña (off-grid) masiva.</p> <p>- Potencialidad en gran cantidad de países a lo largo del globo.</p>

<ul style="list-style-type: none"> -Posee una gran potencialidad aun no explotada. -Bajo nivel de residuos contaminantes durante su operación. -El valor del kw/h se encuentra en baja. -Posee un alto grado de aceptación social. -La fuente es un recurso ilimitado. -No se registran graves accidentes relacionados al ciclo de vida de esta tecnología. -Aumento de la capacidad de generación en las plantas más modernas. -Puede utilizarse para varias funciones (generación eléctrica, refrigeración, calefacción, etc.) -Bajo costo de mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> limitadas. -Impacto visual. -Posee una baja eficiencia de transformación de energía. - Para mejorar la eficiencia se requiere de desarrollos de almacenamiento (a nivel hogareño es más simple de hacer). -Para que opere de noche requiere de fuentes fósiles. -Alto costo inicial de capital. -Para la construcción de los paneles se utilizan materiales contaminantes y tóxicos. -Los paneles dependen de materiales con precios inestables (cobre). -Sus altos costos imposibilita que países con potencial lo desarrollen. 	<ul style="list-style-type: none"> -Alza de los precios de las materias primas, le quitaría la poca competitividad que posee. 	<ul style="list-style-type: none"> -Utilizar las políticas de incentivo estatales de instalación de energías renovables.
---	--	--	---

ENERGÍA OCEÁNICA

Fortalezas	Debilidades	Amenazas	Oportunidades
<p>-Utiliza la energía del agua para la generación. Evita los problemas relacionados a los commodities.</p> <p>-Variedad de tecnología de aplicación que se amoldan a diferentes necesidades. (Mareas, olas, salinidad, etc.).</p> <p>-Es una fuente de energía renovable libre de emisiones de gases de efecto invernadero.</p>	<p>-La mayoría de las tecnologías están en proceso experimental.</p> <p>-La mayor rentabilidad se logra cuando hay gran amplitud de mareas/olas/salinidad.</p> <p>-Los beneficios, costos, precios, y demás valores son teóricos.</p> <p>-Las diversas tecnologías tendrán impacto visual.</p> <p>-Al ser una tecnología nueva carece de una curva de aprendizaje.</p> <p>-Es muy poco conocida a nivel global.</p> <p>-No genera energía en forma continua.</p>	<p>-Demoras en el proceso de I+D</p> <p>-No lograr los resultados esperados y ante las urgencias pueda llegar a ser una tecnología dejada de lado.</p> <p>-Normativa que limite la implementación de este tipo de tecnología.</p>	<p>-Gran potencialidad de aplicación, en diversos tipos de costas.</p> <p>-Sumarse como complemento de las otras fuentes de energías renovables.</p> <p>-Utilizar las políticas de incentivo estatales de instalación de energías renovables.</p>

ENERGÍA GEOTÉRMICA

Fortalezas	Debilidades	Amenazas	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> -Utiliza la energía del calor terrestre para la generación. Evita los problemas relacionados a los commodities. -Posee un alto factor de capacidad. -La energía generada puede sostenerse durante largos períodos de tiempo. -No depende de una fuente con grandes variaciones diarias. -Existen varias tecnologías desarrolladas para obtener energía geotermal. -Puede utilizarse para varias funciones (generación eléctrica, calefacción, desalinización). -Baja emisión de gases de efecto invernadero. -Muchas de las tecnologías de exploración y perforación son 	<ul style="list-style-type: none"> -Emite algunos gases tóxicos con impacto en las poblaciones colindantes. -Tecnología que requiere de altos costos de capital. -Aplicación geográfica limitada. -El proceso de exploración y perforación es costoso y no existen grandes conglomerados empresariales. -Costos de mantenimiento altos. -Proyectos a largo plazo de realización. 	<ul style="list-style-type: none"> -Que los valores de generación no se tornen competitivos en el corto/mediano plazo. -Cambio en las normativas que resulten en un encarecimiento de la generación. -Bajo precio de otras fuentes, sean fósiles o renovables. 	<ul style="list-style-type: none"> -Aumento de las regulaciones ambientales. -La mayoría de las fuentes geotermales no están explotadas. -Gran potencialidad de generación.

similares a las del petróleo.			
-No requiere de grandes espacios.			

ENERGÍA NUCLEAR			
Fortalezas	Debilidades	Amenazas	Oportunidades
<ul style="list-style-type: none"> -Tecnología de baja emisión de gases de efecto invernadero. -Gran capacidad de generación energética por parte del combustible. -Variedad de tecnologías de generación. -No requiere de grandes espacios. -El valor del combustible es estable y de un costo medio. -Plantas generadoras de gran potencia. -Alto factor de capacidad. -Larga vida útil de las plantas. - Bajo valor del kw/h 	<ul style="list-style-type: none"> -Los accidentes de las plantas nucleares tienen consecuencias gravísimas. -Requiere terrenos geológicamente estables para su instalación. -Posee gran cantidad de regulaciones de seguridad para evitar la proliferación. -Necesita de personal muy capacitado para operar las plantas. -Genera residuos altamente tóxicos y en algunos casos se pueden utilizar para proliferación. -Altos costos de capital inicial. - Proyectos de largo plazo de 	<ul style="list-style-type: none"> -Ocurrencia de accidentes. -Declive de la utilización de energía nuclear por parte de los Estados en el corto/mediano plazo. -Aplicación de normativas nuevas que limiten el uso de energía nuclear o encarezcan el valor del kw/h -Utilización de materiales fisibles/combustible para fines de proliferación. 	<ul style="list-style-type: none"> -Nuevos desarrollos de baja potencia para abastecer zonas lejanas. -Puesta en marcha de los reactores generación III+ y en el futuro los más seguros IV. -Aplicación de regulaciones relacionadas a las emisiones. -Desarrollo a futuro de la tecnología de fusión. -Aumento de los precios de las fuentes fósiles. -Los valores del kw/h de las fuentes renovables no descienden. -Extensión de la vida útil de gran cantidad de plantas nucleares.

<ul style="list-style-type: none"> -Variedad de funciones (generación de electricidad, usos médicos, propulsión marina) -Es una tecnología madura y en constante desarrollo. -Gran cantidad de reservas de material fisible. -Posibilidad de reprocesar el combustible (en cierto tipo de reactores) bajando el costo del kw/h 	<p>realización.</p> <ul style="list-style-type: none"> -No es una tecnología disponible para cualquier país. -Es una tecnología imagen negativa. -Costo de mantenimiento y operación medio. -Posee un costo adicional el decomisado de la planta y el almacenaje de residuos. 		<ul style="list-style-type: none"> -Métodos de reciclado de combustible de las centrales, se reutilizan en las mismas plantas y abarata costos.
--	---	--	--

Dentro de este análisis FODA se deben considerar más allá de lo cuantitativo, lo cualitativo de cada uno de las energías. Del mismo modo se puede dilucidar una serie de características comunes que poseen las diferentes tecnologías. Las energías renovables poseen el factor común de no depender una fuente de generación que sea un commodity, eliminando así la desventaja de los precios, comercialización, transporte, abastecimiento, stock, etc. Sin embargo, dependen de un elemento que con variaciones que pueden comprometer la generación de energía (sequías, nubosidad, vientos leves).

Dentro de este grupo la energía solar y la eólica poseen un bajo factor de capacidad de generación debido al poco tiempo diario que generan electricidad, lo que convierte a este tipo de energía en costosa, pues en el lapso de un año (8760 horas) debido a su bajo factor de capacidad trabajan entre 2628 a 3504 horas/año.

Las fuentes fósiles tienden a ser tecnologías “sucias”. La generación de energía libera a la atmósfera gran cantidad de gases de efecto invernadero. Estas tecnologías junto a la energía nuclear poseen una muy mala reputación frente a la opinión pública por considerárselas de gran impacto en el medio ambiente. La nuclear además es considerada peligrosa.

En cuanto a las fuentes convencionales de energía, la generación se logra mediante un combustible que es un commodity sometido a los manejos del mercado que utiliza mecanismos altamente complicados para fijar los valores de las materias primas. Así pues, a excepción del uranio, el resto de los combustibles poseen precios volátiles ligados a cuestiones político-económicas.

El uranio es un caso aparte, pues al ser material utilizado para la fabricación de armas de destrucción masiva, el mercado está sometido a una gran cantidad de controles y restricciones, por tanto es menos volátil que el de sus competidores.

Los costos son un tema difícil de evaluar, en función de la fuente que se analice y el dato que quiera exhibir varía el guarismo. Tecnología como la eólica que no requiere de un gran costo de capital inicial ni de mantenimiento posee un alto valor del kw/h debido a que posee un bajo factor de capacidad de generación y no tiene gran potencia el generador. El caso opuesto es la energía hidroeléctrica.

La energía hidroeléctrica es un caso especial pues el embalse tiene un gran impacto social y ambiental, en primer lugar por el anegamiento de zonas que pueden llevar a movilizaciones poblacionales y a inundar áreas de uso social, en segundo lugar impactan en la fauna local, esto las convierte en una fuente que provoca un amplio rechazo de las poblaciones que se verán afectadas. Las poblaciones que no se verán

afectadas por este tipo de tecnología poseen una percepción altamente positiva. El impacto descripto de la energía hidroeléctrica no se puede comparar con otras fuentes.

Por su parte –aunque en menor medida- el impacto visual que generan las granjas eólicas y solares suelen ser mencionados como uno de los puntos negativos. Las tres tecnologías mencionadas requieren de gran superficie (en especial la hidroeléctrica) para instalarse y poder generar una cantidad de energía que sea comercialmente viable.

Las fuentes convencionales generan desechos tóxicos de distintos niveles, para lo cuales se deben implementar procesos de tratamiento. Mención aparte merece la energía atómica cuyos desechos deben ser tratados y almacenados en lugares especiales pues poseen una radioactividad extremadamente larga y algunos de esos desechos pueden utilizarse para fines bélicos, por lo que se debe redoblar el esfuerzo en su custodia por cuestiones relativas a la proliferación.

6.3 Análisis de Inteligencia Estratégica aplicado a nuestro país.

En la actualidad la matriz energética argentina posee una gran dependencia de las fuentes fósiles y por tanto debe asegurarse el abasto de combustible. Una parte del combustible proviene del extranjero, significándole grandes gastos al erario público y representando una amenaza a futuro para el desarrollo energético independiente del país *“la importación de energía representó en 2011 el equivalente a dos puntos del PBI: alcanzó los u\$s 9000 millones. Y en 2012 podría llegar hasta los u\$s 12.000 millones, según pronósticos de Daniel Montamat, ex secretario de Energía y ex titular de YPF en época estatal.”*²⁸⁵ Según datos del periódico *Ámbito Financiero*, en 2013 se utilizaron casi 13.000 millones para importar energía²⁸⁶. En 2014 si bien tanto la cantidad de energía importada como el gasto en importación se redujeron (la baja en el gasto fue más profunda aún debido al pronunciado descenso en el costo del barril de petróleo), la dependencia de la energía importada no cesó y sigue representando un enorme gasto para el Estado, sumado también a la subvención del valor del MW/h.

²⁸⁵ “La Argentina Energética, el Costo de Ser un País Importador” *El Cronista*, 3 de febrero de 2012, Disponible en <http://www.cronista.com/we/Argentina-energetica-el-costo-de-ser-un-pais-importador-20120203-0038.html>

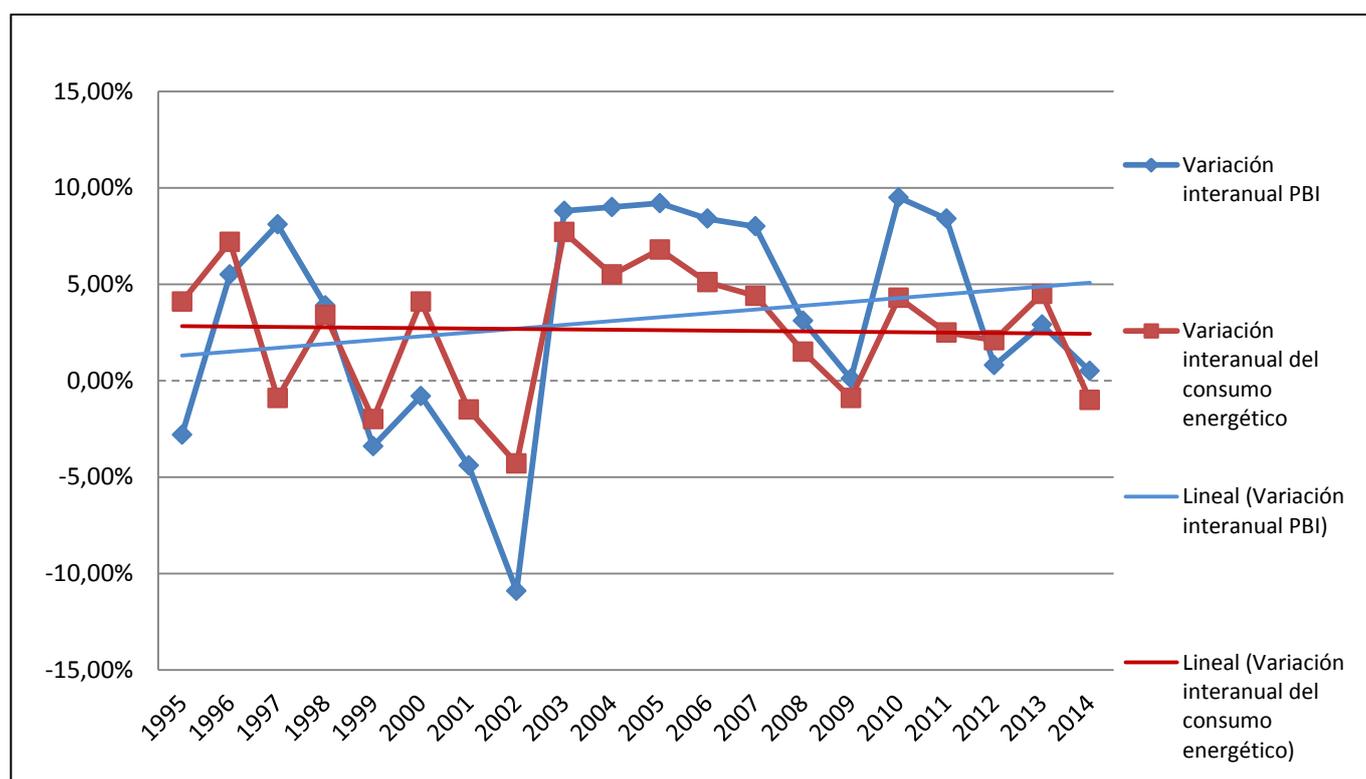
²⁸⁶ “Argentina pasó autoabastecimiento y vender energía a depender de importaciones” *Ámbito Financiero*, 9 de febrero de 2014, en <http://www.ambito.com/noticia.asp?id=727875> (consultada en octubre 2015)

La implementación de energía nuclear, de base, en reemplazo de la fósil significa ahorro para el erario público “Se calcula que cada futura central nuclear, incluida Atucha II, representa ahorros diarios para el país en importación de combustible líquido del orden de 1 millón y medio de dólares”²⁸⁷

El análisis FODA realizado anteriormente es aplicable a nuestro país aunque el mismo debe situarse dentro de las particulares variables económicas, políticas, geográficas, de seguridad, militares, industriales y de desarrollo.

El PBI argentino se ha caracterizado por mantener una sucesión de crisis y crecimientos altos casi como en un ciclo continuo. Datos del banco mundial presentan como promedio de los últimos 20 años (1993-2013) un crecimiento promedio del 3,58%, los 20 años anteriores (1973-1993) el crecimiento fue del 1,90%.

Gráfico 24 - Comparación variación interanual PBI y consumo energético

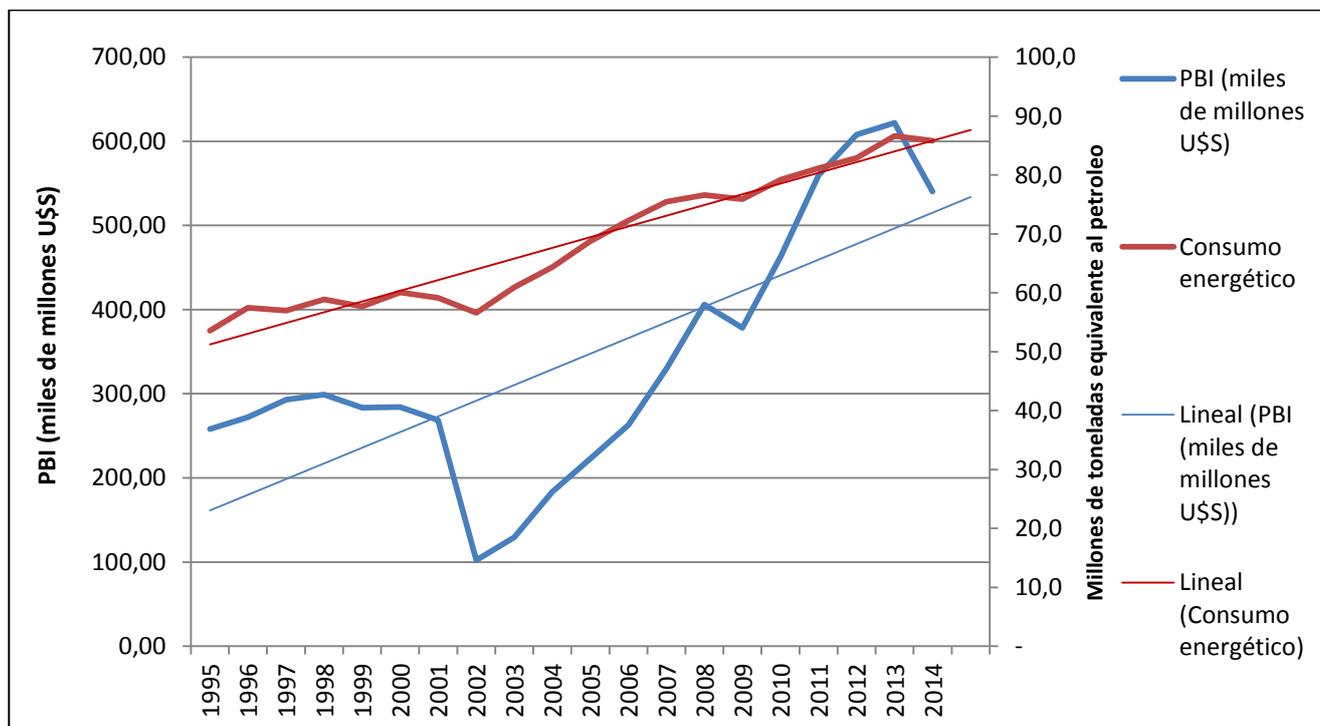


Fuente: PBI (Banco Mundial); Consumo energético (BP). (Cuadro de elaboración propia)

²⁸⁷ “Argentina busca consolidar su rol como potencia nuclear. Irma Argüello da su opinión sobre el pasado, presente y futuro del desarrollo nuclear argentino” julio de 2014, en <http://npsglobal.org/esp/prensa/npsglobal-en-los-medios/1581-argentina-busca-consolidar-su-rol-como-potencia-nuclear.html> (Consultada en octubre 2015)

Si se realiza una comparación de la variación interanual entre el consumo energético y el Producto Bruto Interno (PBI), el consumo energético no presenta el mismo comportamiento, si bien ante grandes crisis económicas argentinas éste se redujo las variaciones no poseen una correlación de comportamiento estrictamente idéntica.

Gráfico 25 - Relación entre PBI y Consumo de energía



Fuente: PBI (Banco Mundial); Consumo energético (BP). (Cuadro de elaboración propia)

Comparativamente las variaciones del PBI son más abruptas mientras que el consumo energético tiende a aumentar o disminuir de forma más suave y no necesariamente respondiendo a los cambios del PBI. Entre los años 1993 y 2012 el consumo aumentó un promedio de 2,73%, siendo una tendencia más estable.

Aunque el comportamiento de ambas variantes tiene su propia lógica, es innegable que las grandes y medianas crisis económicas y recesiones afectaron el comportamiento del consumo energético (tales los casos de los años 1998, del 2001 y del 2008).

Esta sucesión de crisis y comportamiento errático determinan que la elaboración de escenarios sea un poco más compleja en comparación con los países de comportamiento más estable. De extenderse el análisis histórico a 40 años las sucesión de crisis económicas-políticas se evidenciarían aún más.

Si dentro de la demanda de energía se analiza específicamente la demanda de electricidad de los últimos 20 años, el comportamiento de la misma tiene aún menos correlación con el PBI, teniendo solamente una variación negativa en los años 2002 y 2009, el resto de los años el consumo eléctrico aumentó siempre en mayor o menor medida a un promedio de 4,61%, según los datos de CAMMESA.²⁸⁸

Tomando en cuenta los datos exhibidos en un escenario a 20 años se puede prever un aumento del consumo energético promedio del 4% al 6%. Este dato sumado a la generación del sistema energético al límite de su capacidad exige la inmediata implementación de políticas energéticas tendientes a aumentar la capacidad de generación en el país.

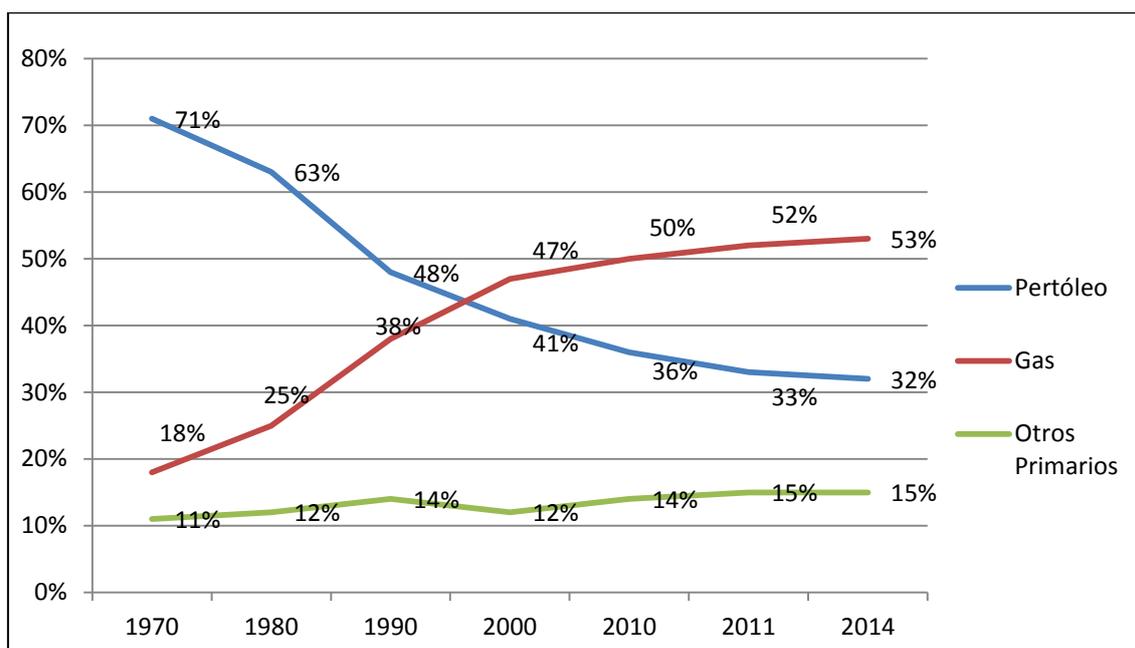
Esta inmediatez es la que tiende a atentar contra la planificación estratégica por lo que hoy el Estado Nacional necesita de la misma para no tener que comprometer aún más la dependencia energética que sufre el país.

En la actualidad la matriz energética, según el Instituto de Petróleo y Gas²⁸⁹, depende en más de un 87% de fuentes fósiles, los recursos renovables representan el 13% restante, siendo la energía nuclear apenas inferior al 3%. Los cambios en los últimos 40 años en la matriz energética nacional se han producido estrictamente en el aumento del consumo del gas por sobre el petróleo, mientras el resto de las fuentes, algunas renovables otras no, siempre se mantuvieron entre el 11 al 14%. Un punto digno de destacar es que, según CAMMESA, la participación de la energía eólica y solar a niveles de Gigawatt comienza a tener presencia recién en 2011 y a niveles representativamente bajos.

²⁸⁸ CAMMESA “Informe Anual 2013” Disponible en <http://portalweb.cammesa.com/memnet1/Pages/descargas.aspx> (Consultado en Julio 2014)

²⁸⁹ Existen variaciones con respecto a otras fuentes, aunque las diferencias entre una y otra no son sustanciales.

Gráfico 26 - Evolución de la Matriz Energética 1970-2014



Fuente: Instituto Argentino del Petróleo y Gas. (Cuadro de elaboración propia)

6.3.1 Escenarios

En el presente capítulo se expondrán tres posibles escenarios y analizarán los diversos factores, tanto los comunes como los individuales, que deberán tener ocurrencia a fin de lograr que se concrete el escenario posible y sus consecuencias.

No sólo se analizarán factores relativos a lo económico, político y a las fuentes, lo que comúnmente hacen los análisis prospectivos energéticos, sino que se analizarán variables más allá de la temática específica que deben ser contemplados por la inteligencia estratégica a fin de implementar las políticas públicas necesarias para alcanzar el objetivo de forma más acabada.

Primer escenario: La matriz energética con amplia participación de fuentes fósiles

Este escenario es uno de los más factibles de acuerdo a los últimos cambios que se realizaron en la matriz nacional debido a que el gas comenzó a tener un rol preponderante. En un contexto de aumento del PBI del 3 al 5% y un aumento del consumo energético en el orden del 4 al 6%, este escenario posee dos evoluciones troncales:

1- Sin grandes cambios en la tendencia extractiva de las fuentes fósiles

Este escenario comprometería aún más el porcentaje de PBI dedicado a la importación de fuentes energéticas y generaría una dependencia de los mercados externos en commodities con alta volatilidad y con una consabida tendencia a aumentar en el futuro.

El aumento en el consumo de energía impactará de inmediato en la necesidad de dar respuesta a la demanda, apostar a la respuesta fósil incrementará la huella de gases de efecto invernadero en el país. De no implementarse seguidamente políticas de reducción de impacto comenzarán a verse afectados distintos sectores de la población así también el medio ambiente.

En el caso de alcanzarse el pico de Hubbert en el mediano plazo, la dependencia del aprovisionamiento de este tipo de fuentes requerirá de acuerdos con los importadores y en el mejor de los casos se precisará la realización de alianzas estratégicas con países productores.

La dependencia de importaciones genera un panorama de incertidumbre que puede provocar inestabilidad política. Cualquier tipo de deficiencia en el abasto de la matriz energética tendrá consecuencias no sólo económicas sino políticas-sociales lo que puede lógicamente incrementar a futuro la inestabilidad del sistema. Fallas en la matriz energética cambian negativamente el “humor social” y es caldo de cultivo para la inestabilidad social.

En base a lo antedicho, es necesario que frente a la continuidad de la matriz energética, se tenga en cuenta a la seguridad como una variable necesaria para poder contener a los inconvenientes que puedan generarse.

Son muchos los motivos por los cuales las políticas de subsidios a la energía aplicadas en la actualidad van a disminuir o desaparecer (alza en los precios de las fuentes, cambios en los gobernantes y las políticas) de realizarse esos cambios paulatinamente el impacto será menor que si se retira la política de subsidios repentinamente, como ha pasado varias veces en nuestra historia, contribuiría también al malestar social. De hecho, la política de subsidios a la energía es hoy un tema central en el cual se debe mediar entre la aplicación de subsidios y la búsqueda de inversionistas energéticos foráneos o nacionales que contribuyan a al mejoramiento de un sistema con evidentes deficiencias.

2- Aumento en la capacidad de extracción de fuentes convencionales y no convencionales.

La situación podría tener un matiz más positivo de comenzar a obtener logros en la exploración y explotación de los recursos no convencionales y también de los convencionales. Las últimas décadas la actividad petrolera sufrió una desaceleración, si bien el camino para recorrer es largo, existen muchas zonas faltas de exploración en nuestro país con un gran potencial productor y si pasamos al nivel no convencional el panorama es aún más positivo.

De mantenerse la matriz y además tener éxito la explotación de los recursos convencionales y los no convencionales la situación sería distinta. En un primer momento sí surgirán problemas relacionados a la falla de la matriz pues para obtener resultados con el potencial productivo (convencional y no convencional) todavía se requiere cierto tiempo.

Una vez obtenido el éxito de la explotación de ambos recursos el país podrá lograr el autoabastecimiento e incluso convertirse en exportador. La explotación de la cuenca del atlántico donde existe una disputa de soberanía con el Reino Unido será motivo a tener en cuenta para que junto con el desarrollo de esta política energética se despliegue paralelamente una política de actualización en los sistemas de defensa del país, a fin de poder asegurar las instalaciones de ultramar y generar poder disuasivo contra cualquier tipo de intromisión extranjera o reclamo alguno de soberanía sobre las aguas territoriales del Mar Argentino. En base a lo estratégico que pueden tornarse las reservas de gas y petróleo no convencionales en el futuro, la adecuación de las fuerzas armadas y de seguridad tienen una función primordial en un escenario donde la posesión de fuentes fósiles pueden llegar a generar conflictos de variada índole con diversos actores.

Esto significa generar un sistema activo y eficiente de defensa de las riquezas estratégicas, como así también el cuidado de la infraestructura crítica dentro del territorio por parte de las fuerzas federales y las policías locales.

Frente a este escenario es necesario un rol activo y coordinado del Sistema de Inteligencia Nacional a fin de proteger las áreas claves contra de cualquier tipo de amenaza sea interna o externa.

Los buenos resultados de la explotación de las fuentes fósiles representarían la solución positiva a una matriz poco diversificada como es la nuestra. Pero dadas los niveles de inversión actuales para que el presente escenario tenga ocurrencia con mayor

de celeridad, se necesitará la reformulación casi inmediata de las políticas energética y un cambio en la relación con las fuentes de financiamiento externas.

Igualmente, el éxito de la explotación de fuentes fósiles no haría más que aplazar temporalmente lo inevitable de su finitud, por lo que para mantener la independencia energética debería acompañarse junto a la política de explotación de fuentes fósiles la búsqueda de sus reemplazos a futuro.

Por otro lado además de centrarse en las fuentes fósiles el país no cumpliría con los compromisos, a los que adscribió, respecto del cuidado del medio ambiente. Podría llegar a tener un menor impacto, si al momento de lograr la independencia energética las tecnologías de mitigación de impacto ambiental en desarrollo (analizadas en el capítulo 4) lleguen a su madurez en forma casi simultánea.

Segundo escenario: La matriz energética se diversifica, disminuyendo la participación de las fuentes fósiles.

El escenario ideal es el de una matriz energética diversificada la cual elimina la dependencia excesiva de las fuentes fósiles. Este escenario se lograría mediante la explotación del gran potencial que posee el país de fuentes renovables y de la energía nuclear.

Argentina cuenta en la actualidad con un potencial hídrico, eólico, solar, geotérmico y oceánico muy grande lo que le permitiría a la matriz poder suplir las eventuales deficiencias con la capacidad generadora de las otras fuentes.

A fin de lograr este escenario la ejecución de los trabajos relacionados al análisis exploratorio, viabilidad y ejecución deberían realizarse de inmediato, debido a que este tipo de tecnologías implican una demanda temporal mucho mayor.

Dentro del mismo escenario puede haber dos vertientes diferentes, uno con primacía de energías renovables, con baja participación de energía nuclear y otro con participación importante de la energía nuclear.

- Primacía de energías renovables:

Muchas de estas tecnologías se encuentran en etapas tempranas de desarrollo, en especial la oceánica, por tanto es necesaria una correcta planificación a fin de poder cubrir completamente la demanda, teniendo en cuenta que el factor de capacidad de muchas de estas tecnologías es bajo.

En este escenario la fuente energética de demostrada capacidad y entrega de energía es la hidroeléctrica, en el año 2014 se han licitado grandes proyectos en la Patagonia (sumará 1740 Mw/h) y otros que todavía se encuentran pendientes (Paraná Medio y Corpus), además de la posibilidad de seguir sumando presas hidráulicas pequeñas que aportarían a diferentes zonas específicas.

Otra de las fuentes que debe tener una presencia mayor en la matriz por su alto factor de capacidad de generación debe ser la geotérmica. Su aporte en la actualidad es nulo, habiendo tenido en el pasado una central experimental. Sin embargo el país posee un potencial muy alto y debería comenzar a explotarlo con celeridad. A diferencia de la hidráulica la energía geotérmica tiene poca raigambre y una curva de aprendizaje que apenas se ha recorrido. Este tipo de energía posee también un factor de capacidad de generación alto por lo que es necesaria como energía de base. Además suplanta a otras fuentes en la generación de calor utilizables con varias finalidades.

Son diversas las fuentes que destacan el alto potencial de eólico que Argentina posee. Este tipo de tecnología se está implementando lentamente en el país, en el presente genera apenas por debajo de los 300 Mw de producción energética, y una gran proyección en todo el país. La mayoría de los componentes de esta tecnología se fabrican en el país por lo que no existen grandes dificultades comerciales. Es necesario para que esta fuente logre su objetivo en una matriz diversificada, la ampliación de los proyectos para aumentar la capacidad instalada a un porcentaje lo más cercano al potencial estimado. Además se debería permitir que a futuro se puedan instalar los sistemas de acumulación de energía de gran capacidad, una tecnología que está introduciéndose en la actualidad.

Del mismo modo, la energía solar tiene un potencial alto en nuestro país con la posibilidad de utilizar su capacidad de generación de dos formas distintas y complementarias a la matriz energética. Una de ellas es la instalación de plantas solares para la generación de energía y la otra es la instalación en construcciones nuevas (urbanas y rurales) donde le otorgue mayor independencia del sistema eléctrico, pudiendo durante las horas de sol generar, los habitantes, su propia energía eléctrica, calefacción y refrigeración. La utilización de la energía solar de forma unitaria debe ser acompañada por una legislación que a futuro comience a incluirla y fomentarla en las nuevas construcciones como así también en las ya realizadas. Un incentivo podría ser otorgar a quienes la utilicen algún tipo de beneficio (impositivo, si poseen acumuladores implementar la venta de la energía a la red, etc.)

Un caso ejemplar de utilización de la energía solar lo representa la provincia de Jujuy, la cual implementó de sistemas solares para pueblos de la puna donde su uso trasciende la generación de energía eléctrica “*Jujuy tiene ocho pueblos solares híbridos (apoyados por una turbina a gas o diésel) y cinco enteramente solares, que son un ejemplo interesante de cómo funcionan las micro redes eléctricas. [...] Aunque se han instalado granjas fotovoltaicas en otras provincias (San Juan, San Luis) y se proyectan en Mendoza, Santa Fe y la propia Jujuy, este tipo de energía sigue estando en estado embrionario (es el 0,4 por ciento de la generación total de la red nacional)*”²⁹⁰

Tanto la energía solar como la eólica poseen un bajo factor de capacidad por lo que es necesario que, de aplicarse estas tecnologías, junto con ellas se implementen fuentes que respalden esta producción energética.

A diferencia de la energía de fuentes fósiles y la nuclear, la utilización de este tipo de energía no genera grandes reclamos ni objeciones, en especial la eólica y la solar. Sobre el tema de la hidroeléctrica el impacto ambiental alto produce rechazo en las poblaciones afectadas y algunas organizaciones ecologistas. En la actualidad varias represas han suscitado respuesta negativa de la población. De implementarse esta tecnología se debe realizar un cuidado dispositivo de seguridad utilizando a las fuerzas provinciales y federales como así también sectores de inteligencia e inteligencia criminal para contener cualquier tipo de intromisión/atentado que se pueda realizar a las centrales o a la infraestructura crítica dependiente de los mismos.

Respecto de las fuentes oceánicas en las que Argentina posee también potencial²⁹¹, deberían comenzar a realizarse análisis de factibilidad con la mayor premura posible a fin de poder aplicar la tecnología cuando ésta esté disponible para su utilización comercial. Al igual que la energía eólica y la solar posee un bajo factor de capacidad, por lo que necesita de otras fuentes base de soporte. Del mismo modo que los pueblos jujeños que utilizan la energía solar para generar electricidad necesitan de otra tipo de fuente por la noche.

En nuestro país se están explotando otro tipo de fuentes de energía no analizadas en la presente tesis que otorgan pequeñas cantidades de energía sectorizada. Según la Secretaría de Energía de la Nación, cuatro proyectos de generación de energía por

²⁹⁰ “Como se vive en los pueblos solares de la Puna” Revista Viva, 26 de Julio de 2015, en http://www.clarin.com/viva/Revista_Viva-paneles_solares-Puna_0_1400860038.html (consultado en octubre de 2015)

²⁹¹ La costa de la Provincia de Santa Cruz o la península Valdés por citar algunos ejemplos con gran perspectiva

biomasa y biogás otorgan 276,3 GWh anuales de energía eléctrica, suficientes para brindar energía a casi 80.000 hogares²⁹².

El desarrollo de una matriz diversificada demandaría un ritmo de consumo de combustibles fósiles menor por lo que la exploración y explotación de nuevos pozos no tendría la urgencia del escenario anterior. El riesgo de poseer una reserva en el largo plazo cuando se estima que los costos serán muy altos y el commodity escaso sigue vigente por lo que la instrumentación de una política de defensa acorde al aumento de riesgo que significa poseer un bien estratégico es impostergable. Por tanto la búsqueda de una matriz diversificada no elimina la necesidad de que ésta sea acompañada por política de defensa de los recursos.

La ejecución de esta matriz diversificada no podría reemplazar completamente a las fuentes fósiles, pero si disminuiría notablemente la enorme demanda de la actualidad sobre las mismas, de hecho hay ciertos sectores en los que las fuentes fósiles tienen una preeminencia que será difícil cambiar en el largo plazo, sin embargo en la generación de energía eléctrica, calefacción y en parte el transporte, las nuevas fuentes de energía son excelentes sustitutas.

Todas estas fuentes tienen la posibilidad de aplicarse localmente para alimentar sectores pequeños urbanos o rurales sin gran demanda eléctrica y dependiendo la ubicación geográfica se pueden construir pequeñas represas, generadores eólicos de baja potencia, paneles solares y centrales geotermales de baja capacidad o una mezcla de varias tecnologías si la geografía lo permite. La realización de estos pequeños emprendimientos colabora con el suministro de energía a lugares alejados de las grandes urbes donde el abastecimiento energético tiende a ser deficiente.

-Energía nuclear y renovables

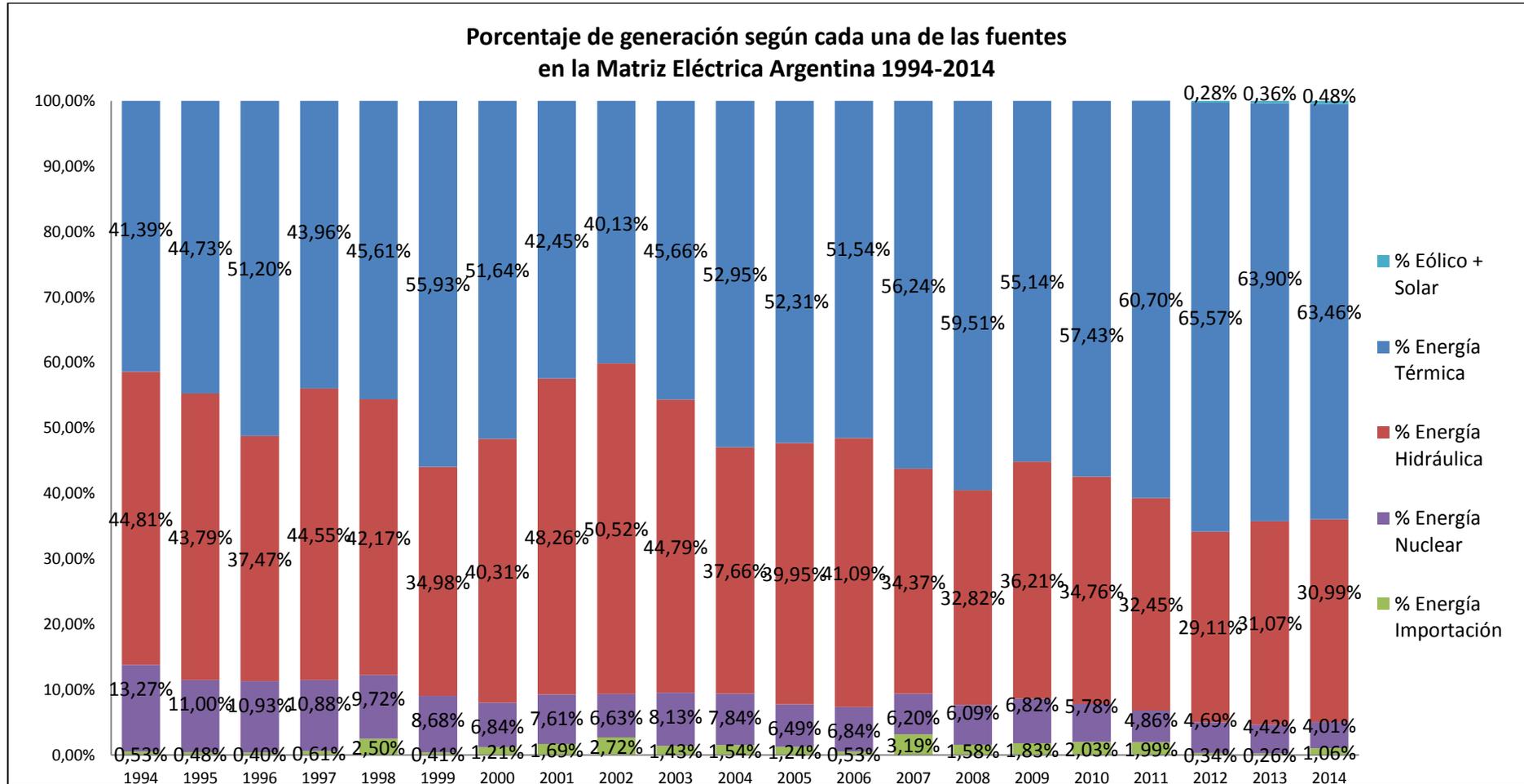
Un escenario más equilibrado y positivo de los ya presentados sería el de una matriz diversificada a favor de energías renovables y con una mayor presencia de fuente nuclear.

La energía nuclear suplantaría la gran cantidad de centrales térmicas alimentadas por fuentes fósiles que predominan en la generación de electricidad en la actual matriz energética. Según datos de Cammesa, en 2011 la generación eléctrica de fuentes fósiles representa el 60% mientras que en la energía nuclear sólo el 4,86%, en 1993 esta

²⁹² En <http://www.energia.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3904> (consultada en septiembre 2015)

relación era 41,39% contra 13,27%. A nivel generación eléctrica la variación fue negativa tanto para la energía hidroeléctrica como para la nuclear.

Gráfico 27 - Porcentaje de generación según cada una de las fuentes en la Matriz Eléctrica Argentina 1994-2014.



Fuente: Cammesa. Elaboración propia.

A fin de lograr el objetivo planteado es imperiosa la puesta en marcha inmediata de un plan a largo plazo. Para obtener una imagen, con base fáctica, de la urgencia en el año 2014 se generaron 131.205 Gw/h anuales, si se aplica una tasa de crecimiento del consumo interanual del 4,5%²⁹³, hacia 2034 será necesario generar 316.428,9 Gw/h. Para obtener una matriz con el 30% de generación nuclear (unos 94.928,6 Gw/h anuales) se necesitan un poco más de 16 Atucha II, cuya generación anual es de unos en 5.800 Gw/h (la central nuclear de mayor potencia térmica en el país). Teniendo en cuenta que la construcción de una central nuclear puede demorar entre 6 a 10 años, la planificación para una matriz diversa con gran presencia nuclear exige la inmediata planificación de varias centrales nucleares.

Acompañando la planificación de las nuevas centrales nucleares proyectadas, se deberían desarrollar las actividades relacionadas a las centrales como ser el aumento de suministro de agua pesada para los reactores, siendo necesaria la ampliación de la actual planta industrial. De igual modo la necesidad de combustible para los reactores requeriría incrementar la explotación minera del uranio. Del mismo modo, se debería planificar cuidadosamente lo relacionado al tratamiento y almacenaje de desechos en territorio argentino. Algunos sectores sostienen que es ilegal el almacenamiento de los mismos de acuerdo al art. 41 último párrafo la Constitución Nacional, el cual reza lo siguiente “*Se prohíbe el ingreso al territorio nacional de residuos actual o potencialmente peligrosos, y de los radiactivos.*”²⁹⁴ Esta cuestión, es una de las que mayor rechazo provoca en la sociedad, y ya que ha causado problemas a nivel nacional e internacional. Por tanto es vital una coordinación y programación correcta sobre el procesamiento y almacenamiento de los desechos radioactivos.

Más allá del rechazo público que genera, este tema requiere de una especial intervención del Estado en relación a la temática de la proliferación.

Nuestro país ha firmado tratados relativos a la no proliferación y mantiene una política contraria al desarrollo nuclear con fines bélicos. A fin de mantener la seguridad de los desechos radioactivos el Estado deberá asegurar el manejo, traslado y custodia de los materiales hasta que sean depositados o enviados al exterior, lo cual demandará la coordinación de las fuerzas de seguridad para su resguardo efectivo.

²⁹³ El promedio de la tasa de crecimiento de consumo entre 1994 y 2014 fue del 4,18%. Según datos de Cammesa.

²⁹⁴ Constitución Nacional Argentina, Primera Parte, Capítulo Segundo, Art. 41. Disponible en <http://bibliotecadigital.csjn.gov.ar/Constitucion-de-la-Nacion-Argentina-Publicacion-del-Bicent.pdf> (Consultado en Julio 2014)

La ventaja de poseer una matriz donde la presencia nuclear es representativa, radica en su alto factor de disponibilidad superior al 90%, funcionando 24 horas todos los días con períodos de mantenimiento programado cada dos años, sin emisión de gases de efecto invernadero. Sería la mejor herramienta para reemplazar al gas y a los derivados del petróleo para la generación eléctrica.

La profundización de la industria nuclear no sólo otorgaría un desarrollo importante a un área estratégica como lo es la atómica, sino que aumentaría la exportación de isótopos medicinales y potenciaría la capacidad de venta de tecnología nuclear a otros Estados.

En caso de ser exitoso la explotación de las fuentes no convencionales, el aumento de la generación atómica y consecuentemente la reducción de las fuentes fósiles, permitiría tener un saldo exportador al país lo cual también beneficiaría a varios aspectos de la economía. Deduciéndose a partir de lo descripto que el país volvería a alcanzar su independencia energética.

Si los no convencionales no prosperaran con éxito, la ampliación hacia una matriz nuclear implicaría un altísimo costo inicial pero que no tendría comparación dicha inversión inicial, con el altísimo costo anual para el Estado argentino que representaría seguir dependiendo todos los años del gas y el fuel oil importado (en 2013 fue de 13.000 millones de dólares)

Por otra parte, se debe tener en cuenta que la energía nuclear genera resistencia en la población, en base al temor generado por los accidentes nucleares y a la vinculación que se establece entre esta tecnología y las armas de destrucción masiva. La política de expansión de la energía nuclear debe ser acompañada por un mayor esfuerzo al cuidado de las centrales.

El área de inteligencia debería actuar de acuerdo al grado de rechazo que genere la concreción de varias centrales nucleares. La previsión del malestar corresponde a la rama estratégica, y la inteligencia criminal para evitar cualquier tipo de ataque, desde simples acciones propagandísticas de los grupos ecologistas hasta acciones contra las centrales o la infraestructura crítica de los llamados ecoterroristas.

A fin de evitar el malestar social causado por la mala información que brindan los grupos ecologistas de amplia difusión, la inteligencia estratégica debe planificar una política informativa profunda a fin de exponer los datos correctos y exhibir las medidas de seguridad existentes donde se cree que existe riesgo.

Los sucesos de Fukushima obligan a las futuras centrales nucleares no sólo a adaptarse a las nuevas disposiciones de seguridad nuclear sino también a una evaluación sísmica profunda, a fin de evitar cualquier tipo de ocurrencia de accidentes. Comparativamente la situación sísmica del país con respecto a Japón es distinta, pero el país no es ajeno a la actividad sísmica. La proyección de las centrales nucleares incluyen el estudio de este tipo de actividad, una planificación macro debe establecer los diversos puntos de ubicación para que las centrales no se vean afectadas por ningún tipo de factor climático extremo. Del mismo modo, la central tampoco debería afectar a las poblaciones aledañas.

En paralelo con la energía nuclear el escenario debe aumentar la participación de la energía hidroeléctrica de la misma forma que se explicó en el punto anterior. La conjunción de la participación amplificada de las dos fuentes sumado lo que puedan aportar las energías renovables y otras como el biocombustible, determinarían una matriz energética ideal.

Para generar una matriz diversificada, las políticas deben ser amplias e ir en varias direcciones a fin de beneficiar la eficiencia de la matriz. En primer lugar la legislación debe ser acorde a la planificación, lo que significa un “paquete” de leyes a implementarse progresivamente, las cuales incluyan cambios en los esquemas actuales como ser políticas de uso racional y ahorro energético, limitando y excluyendo los artefactos y motores eléctricos menos eficientes tanto en la actividad industrial como en el sector residencial. Es menester generar políticas públicas relacionadas al ahorro en todo nivel, en vista a la tendencia creciente del consumo a futuro.

Dentro de las leyes que deben acompañar este plan deben estar la promoción del transporte híbrido y eléctrico (este último en el caso de lograrse avances en la tecnología automotriz eléctrica), legislar de igual forma la utilización de un parque automotor eficiente y promover la utilización de combustibles alternativos (gas, biocombustibles).

Para maximizar el beneficio de la aplicación de estas tecnologías, es necesaria profundizar las políticas de desarrollo en I+D y de industria avanzada, a fin de depender menos del “know-how” y del suministro externo. Esto contribuiría además una mayor generación de empleo relacionado con la energía.

Dentro del bloque de leyes que deberían implementarse para la concreción de este escenario se encuentra la introducción de una legislación que facilite a las futuras construcciones utilizar tecnologías renovables (eólicas, solares) para la generación

autónoma de energía por un período de tiempo diario, contribuyendo así a reducir la demanda eléctrica.

La aplicación de nuevas tecnología de generación deben ser acompañadas por un marco regulatorio energético nuevo, donde se beneficie la generación por vías alternativas a las fuentes fósiles, con leyes que regulen más profundamente la temática (financiamiento, promoción, cuadros tarifarios, mercado, etc.)

La realización de estos escenarios cuenta con un gran limitante y éste es la financiación, la situación del país coarta mucho el financiamiento externo a tasas razonables. Es necesario un proceso económico que permita revertir esta situación para poder financiar el gran gasto que significa para las arcas del Estado variar la matriz energética acompañado de la gran cantidad de variables que deben readecuarse.

6.4 Desafíos de la energía nuclear post Fukushima y Matriz Energética 2030

Actualmente el primer gran desafío que debe sortear la energía nuclear es relativo a la percepción que a nivel global se tiene de la misma. Esta percepción se encuentra en uno de sus momentos más bajos. Como ya se ha descrito, varios países con importante presencia nuclear en sus matrices la han suspendido o han proyectado abandonarla.

Debe tenerse en cuenta que esta percepción no fue así siempre, si bien la energía nucleoelectrica nació ligada a un arma de destrucción masiva, con el tiempo logró aceptación a nivel mundial. Durante la década del '70 cuando las fuentes fósiles sucumbían a los vaivenes de la política, la energía nuclear apenas recibía cuestionamientos por parte de grupos ambientalistas. A pesar de la resistencia de estos grupos, que en aquel tiempo tenían menor difusión y aceptación que en la actualidad, las plantas de energía nuclear eran vistas con gran beneplácito en la mayoría de la sociedad hasta la ocurrencia del accidente de la planta nuclear de la Isla de las Tres Millas.

A partir de lo ocurrido en la antemencionada planta nuclear, la aceptación en Estados Unidos en cuanto a la energía nuclear decayó fuertemente “*Por ejemplo, en los Estados Unidos en 1977, cuando CBS News realizó la primer encuesta sobre la energía nuclear, el 69 por ciento de los encuestados expresó su apoyo por la construcción de*

*más plantas nucleares. Sólo dos años después, luego del accidente de la planta de la Isla de las Tres Millas, el apoyo público se había desplomado al 46 por ciento*²⁹⁵

El impacto mediático que tienen los accidentes relacionados a la industria nuclear no posee comparación alguna con respecto a otras industrias. Son varias las razones de este impacto, en primer lugar el efecto de la radiación sobre el medio ambiente, la salud, la extremadamente larga duración de la radiación en las zonas afectadas, la expansión de la radiación una vez ocurrido el accidente, los residuos producto de las plantas nucleares y la íntima relación de la energía nuclear con el efecto nefasto de las armas nucleares. *“aún hay gente que cree que las centrales nucleares pueden estallar como una bomba atómica y la propaganda antinuclear en torno al accidente mencionado, no ha ayudado a desterrar el mito.*²⁹⁶

Evidentemente los efectos nocivos derivados de los accidentes nucleares representan el mayor impedimento para el avance de esta tecnología y ésto tiene un basamento empírico claro, sin embargo, en comparación con los accidentes ocurridos en el ciclo de vida de otras fuentes de energía, los hechos evidencian una realidad no tan difundida por los medios masivos, ni produce el mismo temor.

La percepción a nivel mundial sobre la energía nuclear es bastante dispar, dependiendo el país. A nivel global al año 2011 el rechazo es mayor que la aceptación un 62% contra un 38%, en el que nuestro país la diferencia es aún mayor 28% contra el 72% de rechazo²⁹⁷ siendo uno de los países con mayor percepción negativa y con poca variación en base a los sucesos de Fukushima.

El caso Fukushima produjo obviamente un efecto negativo en la percepción mundial pero el cambio más significativo estuvo en la percepción de los países asiáticos (Corea, Japón, China e India) superior al 50% la variación del positivo al negativo.

El accidente dividió las opiniones sobre la política nuclear, países como Japón, Alemania, Suiza e Italia, desistieron seguir usándola o retomarla, mientras que otros como China, Estados Unidos, Rusia y Francia mantendrán y ampliarán en su matriz la energía nuclear.

²⁹⁵ RAMANA, M. V. “Nuclear Power and the Public” Bulletin of the Atomic Scientists, Año 67, Julio-Agosto 2011, pág. 44.(Traducción del Autor)

²⁹⁶ OVIEDO, Alberto Illán “Energía Nuclear. Breve Historia de una Polémica” Fundación Iberoamérica Europa (FIE), Madrid, 2011, pág. 55

²⁹⁷ IPSOS, “Global Citizen Reaction to the Fukushima Nuclear Plant Disaster”, June 2011, pág. 4. Disponible en <http://www.ipsos-mori.com/Assets/Docs/Polls/ipsos-global-advisor-nuclear-power-june-2011.pdf>

Los efectos de la tragedia de Fukushima están siendo evaluados en la actualidad pues sus consecuencias, como ocurrió y ocurre actualmente con Chernóbil, se estudian a largo plazo. Lo que sí es comprobable fácticamente son los hechos que permitieron el accidente, evidentemente es consecuencia de una sucesión de fallas en varios de los sistemas de ayuda en un contexto extremo como fue el terremoto y posterior tsunami de marzo del 2011. Si bien los sistemas estaban dispuestos, el contexto hizo que fallaran varios de ellos y surgieran varias dudas acerca de los sistemas de seguridad implementados en la central de Fukushima Daiichi.

Los graves accidentes nucleares sucedidos tienen pocos puntos en común en lo relativo a la causa y las circunstancias. Sin embargo cada vez que ocurrió un incidente de esta naturaleza disminuyeron a nivel global las intenciones de avanzar en los planes de desarrollo nucleares, aunque la demanda cada vez mayor de energía volvió a reposicionar a la actividad nuclear.

Los principales desafíos se encuentran en primer lugar en convencer a la opinión pública de la necesidad de la energía nuclear y de sus ventajas. Esto se debe hacer contrastando los informes de agrupaciones ambientalistas que tienden a simplificar a la energía renovable maximizando sus beneficios pero no aclarando las desventajas que posee. Por otra parte, muchas veces los grupos ambientalistas son instrumentos utilizados en el marco de una “guerra por los mercados”.

Los futuros proyectos nucleares se encuentran en la aplicación de la nueva generación de reactores III+ y la IV los cuales poseen estándares de seguridad mayores. Por otro lado, los organismos de control, muy cuestionados tras los accidentes, deben ajustar los mecanismos de control a fin de que estos sean más eficientes.

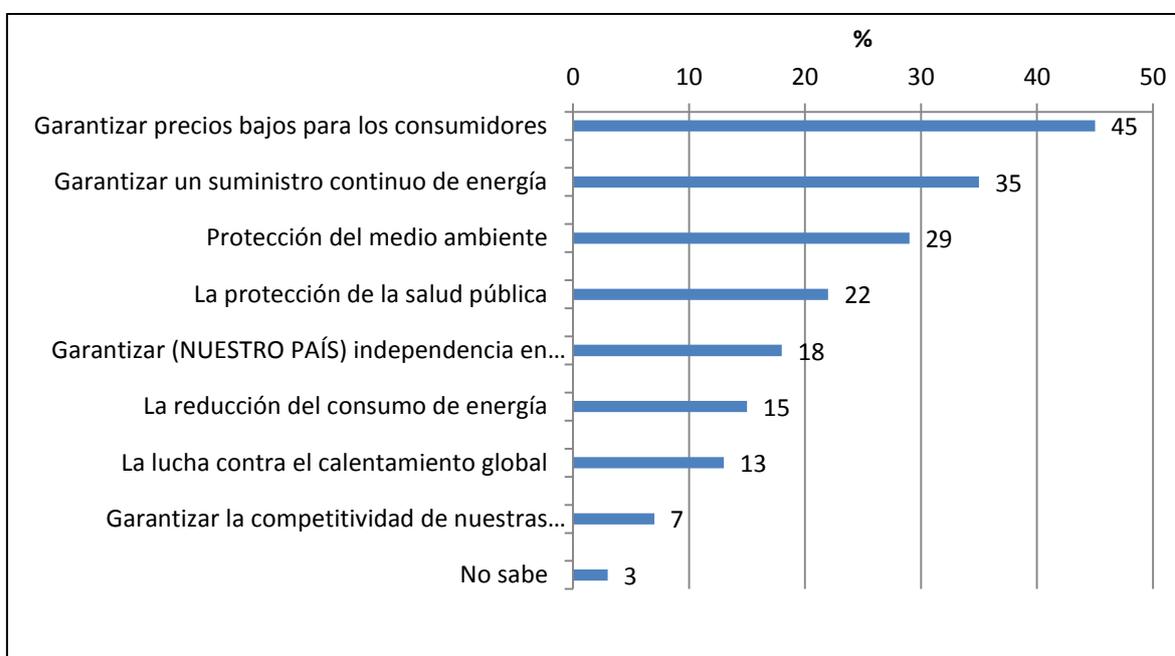
La perspectiva de la energía nuclear en el contexto post Fukushima si bien no es del todo positiva no significa el fin de este tipo de fuente de energía. Como se ha estudiado, varios países continúan apostando al crecimiento de este tipo de tecnología a la vez que otros la abandonan.

Otras energías se presentan como grandes competidoras y con mejor imagen frente a la energía nuclear, en especial el gas. La tendencia a nivel mundial ubica al gas como una alternativa de fuste, si bien aporta gases de efecto invernadero con la aplicación de la tecnología de captura y almacenaje de carbono y las posibilidades de aumento en las reservas de convencional y no convencional posicionan a esta fuente como una de las más importantes a futuro. Las fuentes de energía renovables, de mejor

imagen, van a crecer pero mientras no bajen los costos del kw/h estarán reservadas a países con mayores índices de desarrollo.

Diversas encuestas realizadas en Europa en lo concerniente a prioridades en el campo de la energía eléctrica, evidencian que las dos primeras prioridades son el costo y el abasto constante de la electricidad y en tercer lugar la temática ambiental. Un panorama con gran presencia de fuentes renovables es igual a un costo energético alto, la cuestión clave es hasta qué punto la aceptación de la temática ambiental se impondrá frente a la cuestión monetaria.

Gráfico 28 - Qué dos de los siguientes opciones se debe dar prioridad en la política energética del Gobierno? (Máx. 2 RESPUESTAS) -%



Fuente: Energy Technologies: Knowledge, Perception, Measures (2007) (Traducción del autor)

Se estima que para el 2030 la demanda energética crecerá a nivel global en valores cercanos al 1,2%²⁹⁸ por año, este crecimiento de la demanda será impulsado por países en vías de desarrollo (BRICS y otros). “La demanda de electricidad en 2040 será 80% más alta si se la compara con 2010”²⁹⁹

²⁹⁸ EXXONMOBIL “Outlook for Energy A View to 2030” 2009, pág. 10. En http://www.mtshouston.org/outlook/outlook_2010/exxonmobil_outlook_for_energy.pdf (Consultada en Julio 2014)

²⁹⁹ PYKE, BILL “Global Energy Trends; 2030 to 2050” marzo de 2012, pág. 4, en <https://www.energyinst.org/uploads/documents/session-6-future-energy-trends-note-2012.pdf> (consultada en septiembre 2014)

Con respecto a la matriz energética se prevé un aumento importante de las energías renovables aunque con un porcentaje todavía bajo, mientras que se vislumbra un importante aumento de la utilización gas y en menor medida el carbón, así como una disminución del petróleo. El panorama para la energía nuclear no se presenta prometedor pero tampoco es negativo, mantendrá un porcentaje similar al actual con variaciones leves positivas (entre un 2,3%³⁰⁰ y un 2,6%³⁰¹) y en similar rango la hidroeléctrica. *“El Estudio Roland Berger indica que la capacidad instalada nuclear a nivel global puede incrementarse un 26% para 2030 en el escenario de mínima (de 435 centrales nucleares de 2014 a 489 centrales nucleares o de 372 GW a 470 GW)”*³⁰²

Más allá de los accidentes, las cuestiones relativas a la proliferación y a las condiciones técnicas requeridas, hacen de la energía nuclear una tecnología de la cual no se pueden esperar grandes avances en la matriz energética a nivel global. Si bien existen países con intención de introducir energía nuclear a sus sistemas (Emiratos Árabes Unidos, Bielorrusia, Turquía, Lituania, etc.³⁰³) el crecimiento está casi exclusivamente reservado a los países que ya poseen esta tecnología. *“El renacimiento de la energía nuclear se enfrenta también a muchas barreras, comparado con otros medios de generación la electricidad, a fin de que pueda capturar una cuota de mercado cada vez mayor hacia 2030”*³⁰⁴

Cabe la posibilidad de que la energía nucleoelectrica debido a su bajo costo por Kw/h y la contribución de gases de efecto invernadero, pueda convertirse en una tecnología puente para las energías renovables una vez que estas alcancen una madurez tal que puedan funcionar como base.

Es evidente que la energía nuclear no es la respuesta a todos los problemas en torno a la generación de energía pero si es parte de solución a muchos de ellos.

³⁰⁰ Ibidem, pág. 26

³⁰¹ BRITISH PETROLEUM “BP Energy Outlook 2030” 2013, pág. 11. En http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/Energy-Outlook/BP_Energy_Outlook_Booklet_2013.pdf (Consultada en Julio 2014)

³⁰² ROLAND BERGER STRATEGY CONSULTANT, Op. cit. marzo 2014, pág. 2

³⁰³ En <http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Others/Emerging-Nuclear-Energy-Countries/> (Consultada en julio 2014)

³⁰⁴ FINDLAY, Trevor “The Future Of Nuclear Energy To 2030 And Its Implications For Safety, Security And Nonproliferation. Part 1 – The Future of Nuclear Energy to 2030” The Center For International Governance Innovation, Ontario, 2010, pág. 85.

7 CONCLUSIONES

A partir del desarrollo de las ciencias aplicadas durante la revolución industrial y en especial desde los descubrimientos realizados hacia finales del siglo XIX y principios del XX, las fuentes de energía se instauraron como uno de los pilares del mundo moderno. Dichos cambios ocasionaron que la posesión y/o el dominio de las fuentes de energía sean indispensables para el desarrollo de las naciones.

Al comienzo de la historia las fuentes de energía, si bien eran importantes y poseían un carácter transformador, no gozaban de la importancia que en la actualidad mantienen. A lo largo del tiempo las fuentes de energía se centraron en pocos elementos los cuáles se mantuvieron casi sin variación durante siglos. La eclosión de nuevas tecnologías dio por resultado la multiplicidad de formas de generación existentes en el presente, sumado a la potencialidad de añadir otras en el futuro no muy lejano.

A pesar de los cambios profundos en las formas de generación, elementos básicos con capacidad transformadora del pasado continúan en la actualidad aunque con diferencias. Ejemplo claro de ello es la energía térmica del fuego la cual era transformadora en el pasado y lo es en el presente, todas las fuentes de energía fósil, más la nuclear y la geotérmica utilizan la energía térmica a los fines de generación energética. Del mismo modo el agua y el viento que se utilizaron en el pasado se aprovechan para generar energía en el presente. Lo antedicho da la pauta que los elementos básicos transformadores siguen y seguirán acompañando la evolución y el desarrollo humano.

Las fuentes dominantes de energía en la actualidad son las fósiles (el petróleo, el gas y el carbón) para ciertos sectores como el industrial y en especial el transporte los combustibles fósiles continúan siendo la columna vertebral de su funcionamiento y como así también de su progreso. Es en el sector de generación eléctrica donde dichas fuentes han sido fundamentalmente reemplazadas, o al menos existe un abanico de posibilidades mayor en comparación al sector transportista. Por ende, la gran cantidad de variantes existentes para la generación eléctrica permite diversificar la matriz.

Como se pudo ver en los casos testigo, cada país posee una matriz diferente dependiendo de sus posibilidades económicas, sus reservas de materia prima y en especial del desarrollo de políticas públicas energéticas para realizar el armado de dicha matriz.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que si bien las matrices energéticas mantienen sus porcentajes con variaciones interanuales leves, éstas no son estancas y a largo plazo exhiben dinamismo. Las matrices energéticas con grandes cambios interanuales suelen responder a “disparadores” específicos que los provocan (como es el caso de las matrices de Japón y Alemania a causa del accidente de la central nuclear de Fukushima).

Las fuentes fósiles poseen una mala reputación debido a su carácter contaminante durante todo el proceso. La consecuencia más visible es el aporte de grandes cantidades de gases de efecto invernadero a la atmósfera y en algunos casos la contaminación de los suelos.

A pesar de su conocida capacidad de contaminación, las fuentes fósiles ostentan un carácter estratégico crucial, sin el cual hoy no podrían llevarse adelante la vida moderna. Por tal motivo, el dominio por parte de las potencias mundiales de dichos recursos no ha estado libre de conflictos sangrientos, como históricamente ha ocurrido con cualquier elemento que se precie estratégico. Muy posiblemente esta conflictividad perdurará en el futuro, especialmente cuando comiencen a agotarse las reservas y la demanda de fuentes fósiles supere a la oferta. De hecho a pesar que en la actualidad el precio del barril es bajo, sigue siendo foco de diversos tipos de conflictos.

A los fines de generación eléctrica se han producido una gran cantidad de cambios gracias a la introducción de nuevas tecnologías. Un caso ejemplar es el petróleo, el cual ha disminuido su rol protagónico considerablemente³⁰⁵, dando paso al aumento del gas natural. Esta fuente, de relativa poca importancia en el pasado se encuentra en un proceso de revalorización. Entre los varios motivos que reposicionaron al gas se puede mencionar: la baja emisión de gases de efecto invernadero en comparación con las otras fuentes fósiles y la gran potencialidad para suplantar a los combustibles derivados del petróleo.

Una de las grandes ventajas que posee la generación de electricidad por medio de fuentes fósiles radica en el bajo costo de capital inicial, de mantenimiento y de operación de las plantas térmicas cualquiera sean las fuentes fósiles que utilicen (carbón, derivados del petróleo o gas). Entre éstas fuentes, las centrales alimentadas por gas poseen una prevalencia por sobre sus competidoras pues disminuyen el impacto

³⁰⁵ Según Key World Energy Statistics 2015 en 1973 el petróleo poseía el 24,8% de la generación eléctrica y en 2013 sólo el 4,4%.

ambiental y el costo del combustible es menor. A partir de ello se encuentra la respuesta a porqué ha sido la fuente fósil que mayor crecimiento ha tenido en los últimos 40 años.

Por su parte, las fuentes renovables, en especial la eólica y la solar, poseen una gran aceptación a causa de su bajo impacto ambiental y gracias a los avances realizados en las últimas décadas sus prestaciones han crecido enormemente. Se debe tener en cuenta que ambas tecnologías poseen la gran ventaja de ser una fuente que no requiere de un combustible con costo.

No son pocas las fuentes que ensalzan a las energías renovables para suplantar a las térmicas o la nuclear, pero pierden de vista el detalle del factor de capacidad de generación bajo que poseen estas fuentes. Esto significa que la energía solar y eólica trabajan entre un 30% a un 40% de la totalidad de su capacidad puesto que ni el sol ilumina ni el viento sopla constantemente. Esto no permite que este tipo de energía sea de base, sino que se utilizan en los picos de consumo. Este bajo factor de capacidad hace que los costos del Mw/h sean onerosos a pesar de no generar gastos por combustible.

Por su parte, las centrales hidroeléctricas poseen más impacto ambiental y cuestionamiento sobre efectos secundarios de lo que comúnmente se suele publicitar, sin embargo si son bien explotadas se convierten en las grandes generadoras de electricidad. Este tipo de energía permite a países como Paraguay convertirse en exportadores del excedente de generación eléctrica, gracias a lo que le aporta las represas de Itaipú y Yaciretá. La mayoría de las grandes represas hidroeléctricas poseen un embalse de grandes dimensiones lo que les otorga además una reserva para controlar alteraciones profundas en los ciclos de las corrientes fluviales. A pesar de la reserva de fuente de energía que acumulan las represas, prolongados períodos de sequía pueden afectar severamente la producción eléctrica. Estas variaciones inusuales produjeron deficiencias en el sistema de producción energética en Brasil a comienzos de este siglo. Igualmente la ocurrencia de estos períodos de sequía no son recurrentes pero pueden afectar severamente la alta disponibilidad de generación de las represas.

La energía nuclear vive uno de sus períodos más sombríos a causa del accidente de la central japonesa de Fukushima Daiishi y los subsiguientes cuestionamientos a la seguridad de esta tecnología. Es indiscutible que las consecuencias de los accidentes graves de las centrales nucleares tienen una implicancia negativa para la salud y el medioambiente, con el plus de la permanencia de la radiación.

Las consecuencias negativas de los accidentes han opacado, para la opinión pública, la realidad sobre la seguridad de las centrales nucleares. Los mecanismos de seguridad que poseen son redundantes y cada generación nueva de reactores agrega más elementos de defensa a fin de evitar accidentes.

La literatura sobre los aspectos positivos de las centrales nucleares tiende a estar relegada frente a la opinión pública. Su aporte de gases de efecto invernadero durante la operación es casi nulo. El valor del combustible y la gran capacidad de generación a partir de pequeñas cantidades hacen del costo de generación eléctrica bastante competitivo, para algunas fuentes el más bajo. Gracias a que poseen una alta capacidad de generación constante (generalmente superior al 90%) las centrales nucleares aportan directamente a la energía de base, aventajando así a sus competidoras renovables.

A principios del siglo XXI, la energía nuclear estaba viviendo un pequeño renacer, el accidente de Fukushima marcó una divergencia sobre el accionar de los estados respecto a la utilización de la energía nuclear. Algunos países optaron por dejar de utilizarla o minimizar al máximo posible su uso (Japón y Alemania respectivamente) mientras otros apuestan a aumentar su utilización en vistas a la necesidad de suplantar las fuentes fósiles para la generación eléctrica.

Este último caso lo representan países como Rusia, China y Estados Unidos quienes poseen un vasto programa de construcción de nuevas centrales nucleares, tendientes a cubrir la demanda de energía de las próximas décadas. En especial tanto Estados Unidos como Rusia han reactivado una industria nuclear que se hacía décadas se encontraba aletargada. Nuestro país no es ajeno a esta situación y se ha embarcado en un renovado programa de desarrollo nuclear, si bien no posee el volumen de los países antemencionados proyecta duplicar la cantidad de centrales nucleares en funcionamiento en la actualidad en el mediano/largo plazo.

Suplantar las fuentes fósiles es una necesidad imperiosa a futuro, las tendencias a largo plazo se direccionan irremediamente hacia el aumento del valor, a pesar de la baja existe en la actualidad, y a más largo plazo las reservas se agotarán inexorablemente. Si bien las mejoras futuras podrán prolongar temporalmente la extracción, las reservas son finitas por lo que es necesario comenzar a buscar reemplazos para todos los múltiples usos de los derivados de los hidrocarburos.

El reemplazo de las fuentes fósiles no posee una única respuesta, las diferentes fuentes analizadas sugieren suplantar diversos aspectos de las mismas. Para la generación de electricidad se pueden utilizar varias fuentes a la vez (solar, eólica,

geotermal, hidráulica y nuclear). Para el transporte a futuro se prevé el crecimiento de la utilización del gas o los biocombustibles, como así también sistemas diferentes a la combustión interna como el solar o el motor eléctrico con baterías de litio.

Además de la generación a gran escala (plantas generadoras) la energía eólica y en especial la solar pueden aplicarse de modo independiente en construcciones tanto en la ciudad como en el campo, de forma tal que reducen el consumo eléctrico de fuente fósil durante el período que se encuentran activas estas tecnologías.

La aplicación a gran escala de tecnología solar en las nuevas construcciones permitiría a futuro poder reducir drásticamente el consumo de energía generado por otras fuentes. Este proceso debe estar acompañado por un cuerpo normativo que lo regule y la aplicación de un cambio de paradigma en la utilización de energía. A fin de generalizar la aplicación de esta tecnología, es necesario que los costos de la misma comiencen a reducirse de forma tal que la inversión pueda ser amortizada en un lapso razonable. De no ocurrir estos procesos, la viabilidad de la energía renovable a escala unitaria se tornará compleja.

En base a lo expuesto a lo largo de la tesis se evidencia que realizar la sustitución paulatina de la matriz eléctrica, será más simple que el reemplazo de los hidrocarburos de la matriz energética. En el presente industrias claves como el transporte no tienen reemplazos consistentes a mediano plazo. Por su parte, la aviación y la industria naval están dominadas por los derivados del petróleo y a mediano largo/plazo será difícil poder encontrarles un sustituto adecuado. En cuanto al transporte terrestre si bien tiene algunas variantes como el GNC y los nuevos sistemas eléctricos o híbridos todavía se encuentra a décadas de instalarse como el reemplazo. Sin embargo, esta última tecnología posee un crecimiento constante desde la última década y las automotrices planifican futuros vehículos híbridos o totalmente eléctricos. Ya existen autos híbridos fabricados en serie desde hace más de una década (con muy escasa representatividad en el parque automotor mundial) y grandes automotrices esperan para 2020 producir en serie autos totalmente eléctricos y con altas prestaciones (como es el caso de Porsche y su prototipo Mission E). El cambio de fuente en el sector automotriz no será rápido pero dentro del transporte es quien se encuentra a la delantera.

Gracias a las décadas de desarrollo aplicado a la energía atómica con fines pacíficos, se han logrado construir centrales nucleares con capacidad de respuesta para la demanda creciente de energía. Párrafo aparte merece los reactores nucleares navales que están en funcionamiento en la actualidad. Esta tecnología está casi exclusivamente

reservada a la industria bélica con alguna excepción (rompehielos o barco de transporte) pero jamás alcanzó el éxito de las plantas nucleares para la generación eléctrica.

La energía nuclear está limitada a pocas naciones específicamente a causa de alto costo inicial, complejo desarrollo y operación y los problemas relacionados a la proliferación. Este último punto somete a esta tecnología a una gran cantidad de controles. Los países que integran el “grupo de países suministradores de tecnología nuclear” se encuentran mejor posicionados internacionalmente para seguir construyendo centrales nucleares. Nuestro país integra dicho grupo, lo que constituye una gran ventaja a la hora de profundizar las políticas relativas a la tecnología nuclear.

A pesar de las críticas existentes en el presente y de la limitación descrita anteriormente, para los países que ya poseen un desarrollo previo de la industria atómica, la energía nucleoelectrica es la opción más conveniente para reemplazar a la generación de base de fuente fósil en una matriz planificada. Si bien requiere de un costo de capital inicial alto, las centrales pueden generar energía durante más de 50 años, con altos índices de disponibilidad, bajo costo de combustible, libre de emisiones de gases de efecto invernadero³⁰⁶, gran capacidad de generación y bajo riesgo –a pesar de los peligros advertidos-.

Ninguna otra fuente posee estas todas estas características positivas juntas. A pesar de ello se suelen centrar las críticas en temas de seguridad o los desechos, pero si el cumplimiento de las regulaciones vigentes se aplica, estos son sólo cuestionamientos potenciales. Ninguna tecnología contiene dentro de sí madurez en su desarrollo, altas prestaciones, bajo costo de generación, durabilidad y bajas o nulas emisiones.

No es la respuesta a todos los problemas de generación pero es una fuente sobre la que se puede basar una matriz energética, siendo Francia el caso más paradigmático de una matriz energética basada en la generación nuclear, que le posibilita ser el mayor exportador de electricidad del mundo. Los logros de la matriz francesa son el fruto del planeamiento estratégico energético.

No se debe perder de vista que la energía nuclear es la mejor opción en una matriz planificada, la urgencia de satisfacer una gran demanda de energía atenta contra una todo tipo de planificación, por lo que se tiende a dar respuesta con las fuentes más rápidas en tiempos de construcción y de menor demanda de capital inicial, como son las

³⁰⁶ Cabe destacar, que según la Organización Meteorológica Mundial (OMM) el año 2014 tuvo la medición más alta, a nivel global, de gases de efecto invernadero con 397,7 partes por millón (ppm). La tendencia en alza que se proyecta debería centrar la atención con mayor fuerza aún en las fuentes de generación no contaminantes.

plantas térmicas de fuente fósil. Las plantas nucleares o hidroeléctricas demoran una mayor cantidad de años y exigen un costo de capital inicial alto.

Que la energía nuclear se constituya como la mejor opción para consolidar una matriz energética no significa que sea la única opción, puesto que esta no puede dar respuesta a todas las necesidades energéticas. Toda matriz debe poseer un grado de diversificación para cubrir los distintos sectores de demanda y los diferentes momentos (picos, estacionarios, etc). Dentro del plano ideal sería destacable una matriz con diversas fuentes de energía y una importante presencia de la energía nuclear.

La clave para lograr una matriz diversificada y planificada radica en el dominio de dos factores muy difíciles de alcanzar simultáneamente: el tiempo y el capital. Son pocos los países que pueden planificar la matriz energética con solvencia económica y mientras tanto pueden dar respuesta a la demanda energética.

Diversificar la matriz energética no es una tarea ni sencilla ni rápida, requiere de planificaciones minuciosas y largos períodos de ejecución. No se debe perder de vista que la sustitución de una fuente por otra no se realiza en un contexto estanco de demanda energética sino que ésta mantiene una tendencia alcista casi permanentemente. Por ende se debe diversificar tratando de obtener un aumento la producción energética.

La planificación del cambio en la matriz energética y reemplazo de los hidrocarburos o al menos la disminución del consumo corresponde al Estado. Las prognosis en lo que respecta a la generación de energía exclusivamente puede realizarla la institución del Estado abocada al tema. Sin embargo desarrollar una planificación de carácter transversal que abarque la elaboración de varias políticas públicas de diferentes ámbitos tanto estatales como no estatales es MENESTER EXCLUSIVO de la inteligencia estratégica.

La construcción de escenarios futuros no sólo debería contemplar el armado de una matriz sino que también las consecuencias relacionadas con ella. De tal modo deberá examinar los posibles conflictos internos y externos que pueden suscitarse, políticas destinadas a la transformación de comportamiento social con respecto a la energía, la generación de un cuerpo normativo que comprenda lo general y lo específico relacionado a la generación energética, políticas de comercio, seguridad y defensa entre otras.

En el plano económico-comercial la inteligencia estratégica debe trabajar en profundidad para evitar caer en problemas que han desacreditado al país. Toda tecnología de punta significa una inversión de capital muy alta y nuestro país ya ha

tenido problemas con quienes financiaron proyectos energéticos (especialmente el caso Central de Embalse) por tanto no se debe fallar de nuevo. Se deben generar políticas para que el financiamiento externo no sea excesivamente oneroso para nuestro país y que además brinde seguridad al inversor. La seguridad se logra mediante la generación confianza jurídica e institucional. Debido a estas fallas en el cumplimiento de ciertas obligaciones nuestro país tuvo que litigar en tribunales extranjeros.

A nivel comercial, si la coordinación del cambio de matriz es exitosa, los excedentes de generación podrán ser comercializados brindándole al Estado posibilidad de volverse a transformar en exportador de energía, revirtiendo el rol de importador que posee en la actualidad.

La Inteligencia Estratégica deberá coordinar con el sector de seguridad y Fuerzas Armadas –y con sus respectivas ramas de inteligencia- las actividades de protección de las fuentes fósiles, las centrales de generación y la infraestructura crítica. La Inteligencia Estratégica deberá trabajar con el sector científico tecnológico y el sector industrial para el apoyo de la independencia tecnológica, desarrollos aplicados a la matriz energética y para proteger de posibles sustracciones cualquier tipo de avances que se logren. Asimismo deberá coordinar con sectores del Estado la elaboración de varias políticas públicas y estratégicas tendientes a la disminución del consumo energético y de las emisiones contaminantes. Y dentro de esta gran coordinación deberán estar incluidos los sectores privados, estatales y organizaciones no gubernamentales.

Se ha nombrado en reiteradas oportunidades que las fuentes de energía por la importancia que revisten en la actualidad, poseen un carácter estratégico. Como todo elemento de suma importancia para el desarrollo de un país, la Inteligencia Estratégica es la que debe utilizar todo sus conocimientos y métodos para generar la información necesaria que pueda ayudar a los decisores a elaborar el conjunto de políticas públicas y estratégicas correctas.

Un país debe poseer una planificación estratégica sobre los recursos energéticos, a fin de evitar un sinnúmero de consecuencias que arrastra la pérdida de control sobre la matriz energética y la falta de respuestas ante la demanda.

En el plano nacional, nuestro país ha mantenido un desarrollo ambivalente y contradictorio en las últimas décadas. Por un lado durante la década del '90 se actualizaron y mejoraron los servicios y el abastecimiento de la demanda eléctrica llegando a alcanzar la máxima capacidad extractiva de petróleo de la historia y la mayor

participación de la energía nuclear en la matriz energética. Paralela y contradictoriamente, se dejó de realizar minería de uranio, se detuvieron la construcción de Atucha II y el CAREM 25 y hasta algunos sectores clamaron por la privatización del área nuclear.

Comenzado el siglo XXI, crisis mediante, comenzó una política de subvención al consumo eléctrico que no favoreció a las empresas generadoras y transportadoras de energía. Así el sector que se había visto favorecido una década antes comenzaba a estancarse. De forma inversa, el sector nuclear comenzó a vivir un proceso de resurgimiento a partir de varios hitos. El primero y más importante fue el reinicio y finalización de las obras de Atucha II, el relanzamiento del proyecto CAREM 25, la proyección de los procesos de extensión de vida en las centrales en funcionamiento y gestionando la construcción de una cuarta y quinta central. La industria nuclear acompañando este impulso proyecta un gran crecimiento a futuro.

Paralelamente Argentina durante este período pasó de la independencia de los hidrocarburos a la dependencia de gas y derivados de petróleo con grandes costos al erario público anualmente. Convirtiendo al otrora país exportador de energía en uno de los más grandes importadores. Se debe recordar que el pico de producción de petróleo Argentina lo alcanzó en 1998 a partir de allí la producción comenzó a declinar.

La matriz nacional vivenció un solo cambio digno de destacar en los últimos 20 años. Este fue el marcado crecimiento del gas en desmedro del petróleo fuente que comenzó a ser de vital importancia para el país. A pesar del cambio, estas dos fuentes en la actualidad dependen de importaciones.

Se debe destacar que en los últimos 4 años creció exponencialmente la generación eólica. A nivel porcentual este crecimiento es el más importante de todos pero a nivel aporte neto no llega a ser representativo en la matriz. A pesar de no tener un peso significativo, marca una tendencia positiva tendiente al aumento de participación de las energías renovables. Todavía se espera la puesta en marcha de nuevos proyectos solares y la reactivación del geotérmico. No debe descartarse la energía oceánica en la cual nuestro país también posee un gran potencial. También se han agregado pequeñas centrales de biomasa y biocombustible. Incluso el aumento de producción de energía de fuentes renovables fue acompañado por un marco legal y políticas de financiamiento estatales.

De cara al futuro el país requiere de la intervención de la Inteligencia Estratégica para poder diversificar la matriz energética, a fin de poder reducir la participación del

gas y los derivados del petróleo destinados a la generación eléctrica, y poder disponer de estas fuentes con otros fines.

Argentina posee especiales características que la convierten en un país con enorme potencial de diferentes fuentes como ser la hidroeléctrica, la eólica, la solar y hasta la oceánica. Lamentablemente, en el presente el país no domina las variables tiempo y capital, teniendo premura para dar respuesta a la demanda y necesitando de financiamiento para la ejecución de obras de altos costos iniciales.

Aunque existan indicios de cambios (ampliar la participación nuclear, hidroeléctrica y eólica) estos cambios tienen un impacto bajo en un matriz muy volcada a los hidrocarburos y al gas.

De no modificarse sustancialmente esta situación, la esperanza descansa en el aumento en la producción de las fuentes fósiles, el descubrimiento de nuevos pozos (nuestro país todavía posee amplios territorios subexplorados y subexplotados, entre ellos el lecho marítimo) y el éxito de los no convencionales. La ocurrencia de cualquiera de estos eventos es de mediano a largo plazo.

La urgencia por cubrir la demanda nacional de energía dio por resultado la construcción de plantas térmicas alimentadas por combustibles fósiles. Este tipo de centrales le demandan al estado grandes sumas de dinero para abastecerlas de combustible. Por otro lado, contradicen la intención global de reducir la huella de carbono de los países y la búsqueda de energías limpias.

Si las políticas energéticas se dejan dominar por la premura, los resultados a futuro no serán alentadores. Argentina debe dejar de instalar capacidad fósil y volcarse a una matriz diversificada y en lo posible con mayor presencia nuclear.

Por su parte, la sociedad argentina posee un comportamiento contradictorio con respecto a las fuentes generadoras de energía. Por un lado mantiene una posición negativa con respecto a la energía nuclear, que hasta el momento no ha mostrado peligrosidad alguna, y sin embargo no poseen la misma actitud para con las centrales térmicas más contaminantes. En momentos en los que se discute a nivel global la necesidad de disminuir la huella de carbono que producen los países la discusión sobre extender la capacidad nuclear sigue siendo discutida. Además de ser energía limpia, el Kw/h nuclear es más barato comparativamente, sin mencionar que es energía de base, y que lo es aún más si se toma en cuenta los tratados de emisión de carbono que hacen más costosa la producción de electricidad por fuentes fósiles.

Muy posiblemente este comportamiento se deba a la desinformación que suelen provocar los grandes portavoces de las energías limpias. Se puede leer con cierto grado de frecuencia que la capacidad de generación eólica potencial del país cubriría las necesidades de generación actuales, pero no se informa la deficiencia que la tecnología posee.

A pesar que nuestro país posee una gran capacidad científica para ampliar su plan nuclear, a largo plazo muy difícilmente logre cubrir un porcentaje superior al 20% de la generación eléctrica. No obstante se debe resaltar que se revitalizó el camino nuclear como una forma de generación segura y libre de gases de efecto invernadero. La posibilidad de expandir el CAREM 25 a lo largo del país surge como un pequeño aporte de esta fuente a regiones remotas.

Argentina vive un momento especial respecto a la energía nuclear aunque por las características propias del país difícilmente logre tomar un rol más importante al que posee en la actualidad. La respuesta nuclear a la energía de base argentina sería la ideal pues el país está en condiciones de desarrollar su propia minería del uranio, produce su propia agua pesada, el combustible nuclear, Atucha II fue realizada con un gran aporte científico-técnico nacional y el país cuenta con una industria y capital intelectual nuclear de primer nivel mundial. Estas características propias posibilitan un futuro desarrollo nuclear con fines pacíficos sin grandes impedimentos.

En el presente, el proyecto nuclear argentino ha tomado un impulso positivo también gracias a la firma del tratado con China para la construcción de la cuarta y quinta central, la futura recuperación de la planta de enriquecimiento de uranio Pilcaniyeu y la búsqueda de extender la vida útil de Atucha I y Embalse. Todos estos avances logrados y proyectados han reposicionado a la industria nuclear argentina tanto en el plano nacional como en el internacional.

Una matriz energética con amplia presencia nuclear no sólo permitiría dejar de gastar grandes cantidades de divisas en los altos costos de combustibles exportados, sino que mantendría la demanda energética satisfecha incluso en los picos estacionarios.

Lamentablemente la energía nucleoelectrica es entendida como una tecnología de punta que realiza un aporte a la matriz energética pero no como una real opción de cambio en la matriz. Muy posiblemente este lugar lo ocupe el gas natural, fuente que en la actualidad necesita de abastecimiento externo y que si bien no es la más contaminante tampoco es una energía limpia.

El gas no convencional representa para nuestro país una verdadera oportunidad y el potencial investigado podrá proporcionarle un alivio a las arcas del estado al dejar de necesitar importaciones para cubrir la demanda. Sin embargo, concentrar más la matriz energética en el gas debido al gran potencial sería desperdiciar las otras grandes potencialidades de otras fuentes para mantener una matriz diversificada. Lujos que pocos países pueden darse

La inteligencia estratégica no sólo debe tratar de buscar una matriz diversificada, aumentando la participación de la energía nuclear, sino que debe generar políticas públicas en la cual se gestionen plantas o proyectos de generación destinadas a lugares específicos de acuerdo a las potencialidades de cada zona y de ser posible sumadas al Sistema Interconectado Nacional. De este modo profundizar proyectos como los solares en Jujuy, las plantas de generación por medio de biogás como se realiza en la provincia de Buenos Aires, la central de carbón de Río Turbio y las de biomasa en las zonas azucareras. Además de estas existentes ejecutar los futuros proyectos CAREM 25 en zonas remotas, pequeñas centrales hidroeléctricas y los proyectos mareomotrices entre otros.

Estas centrales son pequeñas respuestas a necesidades de energía de ciertas zonas las cuales poseen un elemento abundante que permite generar energía. Depende de la Inteligencia Estratégica tratar de lograr explotar las potencialidades energéticas de las diferentes zonas del país. Muchas de estas tecnologías son costosas por lo que es necesario un apoyo estatal para su desarrollo y que además puede generar directa e indirectamente beneficios a estos distritos, muchas veces remotos. Si bien no darán la solución a los problemas de generación será una manera de implementar la diversificación y la explotación de las potencialidades energéticas que se encuentran por todo el país. La sumatoria de todas estas tecnologías hará su contribución, aunque pequeña en un principio, a la matriz energética. Por otro lado reducirá el uso de fuentes fósiles y los elementos combustibles si no son renovables son producidos en las zonas por tanto reduce los costos.

El futuro presenta una serie de desafíos, para suplantar a las fuentes fósiles en varias de sus funciones. Muchas opciones se concentran en reemplazar los motores de combustión interna, tanto los de uso industrial como los utilizados para el transporte, por motores eléctricos. Para la implementación a gran escala de este reemplazo todavía faltan algunas décadas, sin embargo se debe tener en cuenta que esto aumentará la demanda de consumo eléctrico por lo que a nivel mundial se deberá planificar un

aumento en la producción de la generación eléctrica. Lo ideal es que la respuesta a esta demanda sea por medio de fuentes no contaminantes, posiblemente este escenario le otorgue a la energía nuclear un lugar diferente al que posee.

No debe descartarse la oportunidad que representa para nuestro país el litio, metal del cual Argentina posee importantes yacimientos y que su futura utilización como “combustible del futuro” redundará en beneficios *“El litio, que es un producto no contaminante, es una materia prima de la cual nuestro país es potencia mundial (posee junto a Chile y Bolivia más del 80 por ciento de las reservas)”*³⁰⁷

El mundo atraviesa en la actualidad un momento clave con respecto al futuro de las energías, los países desarrollados están tratando de adaptar sus matrices energéticas para reducir la dependencia hacia los combustibles fósiles. Como se pudo ver, pocas matrices energéticas son coincidentes, cada una tiene sus particularidades. Los países en vías de desarrollo no pueden contar hoy con la idea de sumar energía nuclear a sus matrices, las cuales son enormemente dependientes de los combustibles fósiles. Estos países deberán esperar el éxito de las tecnologías de captura de carbono para poder aplicarla. Sin embargo los países más pobres difícilmente ubiquen como temáticas prioritarias en sus agendas la contaminación de las fuentes de energía.

La Cumbre de París entre sus acuerdos se fijó la baja en la emisión de gases de efecto invernadero por parte de los 195 que concurrieron. Este tratado intenta bajar la temperatura global en alza gracias a las emisiones contaminantes.

Los resultados de esta cumbre serán un apoyo más para las naciones que apuestan a profundizar el desarrollo de la energía nucleoelectrica. Esta misma tecnología a pesar de la mala propaganda y de encontrarse en uno de los peores contextos en los que podía desarrollarse, se encuentra en crecimiento.

En el futuro cuando el contexto comience a tornarse dificultoso para la utilización de las fuentes fósiles, la energía nuclear no será la solución a todos los problemas pero puede convertirse en una tecnología puente hasta que el avance tecnológico permita utilizar otras fuentes que generen respuestas más eficientes.

Ninguna tecnología de generación energética debe darse por terminada en un mundo donde la I+D avanza constantemente y obtiene grandes logros. En próximas dos décadas posiblemente el panorama de las tecnologías energéticas sea muy diferente al

³⁰⁷ En <http://www.revistacabal.coop/litio-el-combustible-del-futuro> (consultada en octubre 2015)

actual y surjan formas de generación con gran cantidad de aspectos positivos. Por el momento todas comparten aspectos positivos y negativos.

El futuro puede otorgarle posiblemente a la energía nuclear un aporte mayúsculo representado por la tecnología de fusión. Lograr la generación por fusión sería enormemente ventajoso y aún más si se logra la fusión en frío.

Finalmente, Sherman Kent en sus publicaciones remarcó que la función de la inteligencia era generar una respuesta para un conocimiento útil. La finalidad de esta tesis es poder brindar al menos un poco de claridad sobre una temática tan compleja y esencial como lo es hoy la matriz energética de nuestro país y la función que debe asumir la Inteligencia Estratégica respecto al análisis, conducción y ejecución de este fundamental asunto.

8 BIBLIOGRAFIA

Libros

- ALIMEN, Marie-Henriette, STEVE, Marie Joseph “Prehistoria” Siglo XXI Ediciones, México, 1986.
- ALVAREZ LONDOÑO, Luis Fernando “Historia del Derecho Internacional Público” Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, 2006.
- AVALLONE, Eugene A. (et alt) “Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers 11th Edition”, Mc-Graw Hill, New York, 2007.
- BILLINGTON, David y JACKSON, Donald “Big Dams of New Deal Era, A confluence of engineering and politics” University of Oklahoma, Oklahoma city, 2006.
- CANDELTON, Philip; HEWLETT, Richard y WILLIAMS, Robert “The American Atom (A Documentary History of Nuclear Policies from the Discovery of Fission to the Present)” University of Pennsylvania Press, Pennsylvania, 1984.
- CARPINTERO SANTAMARÍA, Natividad “La Bomba Atómica. El factor Humano en la Segunda Guerra Mundial” Díaz de Santos, Madrid, 2007.
- CARRASCO, Francesco “Introduction to Hydropower” The English Press, Nueva Delhi, 2011
- CASTRO DIAZ-BALART, Fidel “Energía Nuclear y Desarrollo” Ediciones Colihue, Buenos Aires, 1991.
- CLARK, Ronald “Einstein: The Life and Times” Avon Books, New York, 1970.
- DEPARTAMENTO DE ENERGÍA DE LOS ESTADOS UNIDOS “The First Reactor” Washington, 1982.
- EDENHOFER, Ottmar; PICHS MADRUGA, Ramon; SOKONA, Youba (et alt) “Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation, Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change” Cambridge University Press, Cambridge, 2012.
- ELIASSON, Baldur y LEE, Yan “Integrated Assessment of Sustainable Energy Systems in China. The China Energy Technology Program” Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, 2003.
- FORSUND, Finn “Hydropower Economics” Springer, Nueva York, 2007.
- GILL, Peter; MARRIN, Stephen; PHYTHIAN, Mark “Intelligence Theory. Key Questions and Debates” Routledge, Nueva York, 2009.

- GOLDBERG, Stephen; ROSNER, Robert “Nuclear Reactors: Generation to Generation” American Academy of Arts and Sciences, Cambridge, 2011.
- GOUDSBLOM, Joahn “Fuego y Civilización” Andrés Bello, Santiago de Chile, 1995.
- HERODOTO “Los Nueve Libros de la Historia” Editorial Porrúa, México, 1974.
- HORE-LACY, Ian “Nuclear Energy in the 21st Century” World Nuclear University Press, Londres, 2010.
- KENT, Sherman “Inteligencia Estratégica. Para la Política Mundial Norteamericana” Círculo Militar, Buenos Aires, 1951.
- KLARE, Michael “Guerra por los Recursos. El futuro escenario del conflicto global” Tendencias, Barcelona, 2003.
- KOETSIER, Teun; CECCARELLI, Marco “Explorations in the History of the Machines and Mechanisms” Springer, Dordrecht, 2012.
- LESOURD, Jean-Baptiste (et alt) “Models for energy policy” Routledge, Londres , 1996.
- MARA, Wil. “The Chernobyl Disaster: Legacy and Impact on the Future of Nuclear Energy” Marshall Cavendish, Nueva York, 2011.
- MCDOWELL, Don “Strategic Intelligence. A Handbook for Practitioners, Managers, and Users” The Scarecrow Press, Lanham, 2009.
- MIELI, Aldo (comp); PAPP, Desiderio y BABINI, José “Panorama General de la Historia de la Ciencia XII, Ciencia de la tierra y técnica del siglo XIX” Espasa Calpe Argentina, Buenos Aires, 1961.
- MORAGUES, Jaime; RAPALLINI, Alfredo “Energía Eólica” INSTITUTO ARGENTINO DE LA ENERGÍA (IAE), Buenos Aires, 2003.
- OBAMA, Barack “La audacia de la Esperanza” Península, Barcelona, 2007.
- ORGANIZACION DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTYURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO) “Energía Animal en la Agricultura en Asia y África” FAO, Roma, 1985.
- OVIEDO, Alberto Illán “Energía Nuclear. Breve Historia de una Polémica” Fundación Iberoamérica Europa (FIE), Madrid, 2011.
- PATTERSON, Walter C. “Nuclear Power” Penguin Books, Middlesex, 1983.
- PINEDO VEGA, José Luis “Petróleo en Oro y Negro” LibrosenRed, Buenos Aires, 2005.
- RUTHERFORD, Ernest “Radio-Activity” Dover Publications, Nueva York, 2004.

- SCHORR, Thomkas (et alt) “Las represas y sus Efectos sobre la salud” Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, México, 1984
- SHEPHERD, Dennis “Historical Development of the Windmill” Department of Energy, Washington, 1990.
- SIEFERLE, Rolf Peter “The subterranean Forest. Energy Systems and Industrial Revolution” White Horse Press, Cambridge, 2001.
- SMIL, Vaclav “Energy in World History” Westview, Boulder, 1994.
- SMIL, Vaclav “Energy Transitions. History, Requirements, Prospects” Praeger, Santa Barbara, 2010.
- TOYNBEE, Arnold “Cambio y Hábito” Emecé, Buenos Aires, 1968.
- UNIVERSITY OF CHICAGO “The Economic Future of Nuclear Power” University of Chicago, Chicago, 2004.
- VISWANATHAN, B. “An Introduction to Energy Sources” National Centre For Catalysis Research Department Of Chemistry Indian Institute Of Technology, Madras, 2006.

Publicaciones

- BRITISH PETROLEUM “BP Statistical Review of World Energy Statistics 2013” BP Statistical Review of World Energy, Londres. En http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/statistical-review/statistical_review_of_world_energy_2013.pdf
- BRITISH PETROLEUM “BP Statistical Review of World Energy Statistics 2014” BP Statistical Review of World Energy, Londres. En <https://www.fer.unizg.hr/download/repository/BP-statistical-review-of-world-energy-2014-full-report.pdf>
- BRITISH PETROLEUM “BP Statistical Review of World Energy Statistics 2015” BP Statistical Review of World Energy, Londres. En <https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2015/bp-statistical-review-of-world-energy-2015-full-report.pdf>
- DEPARTMENT OF ENERGY & CLIMATE CHANGE “Electricity Generation Cost” Octubre 2012, Londres.
- FINDLAY, Trevor “The Future Of Nuclear Energy To 2030 And Its Implications For Safety, Security And Nonproliferation. Part 1 – The Future of Nuclear Energy to 2030” The Center For International Governance Innovation, Ontario, 2010.

- GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL “Global Wind Energy Outlook 2012” Global Wind Energy, Bruselas, 2012.
- HOLT, Mark, “Nuclear Energy Policy” Congressional Research Service, Septiembre 2013.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA) “INES The International Nuclear and Radiological Event Scale. User’s Manual 2008 edition” IAEA, Viena, 2013.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY “Nuclear Power Reactors in the World. Edition 2013” IAEA, Reference Data Series N°2, Viena, 2013.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) “Energy Efficiency Indicators for Public Electricity Production from Fossil Fuels” IEA, París, 2008.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) “Key World Energy Statistics 2010” Paris, 2010 en http://ua-energy.org/upload/files/key_stats_2010.pdf
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) “Key World Energy Statistics 2011” Paris, 2011 en https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/key_world_energy_stats-1.pdf
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) “Key World Energy Statistics 2013” Paris, 2013 en <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/KeyWorld2013.pdf>
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) “Key World Energy Statistics 2014” Paris, 2014 en <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/keyworld2014.pdf>
- 4747INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) “Power Generation from Coal, Measuring and Reporting Efficiency Performance and CO2 Emissions” IEA Publications, Paris, 2010.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY “Projected Costs of Generating Electricity” OECD PUBLICATIONS, Paris, 2010.
- INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION (IMO) “International Shipping Facts and Figures – Information Resources on Trade, Safety, Security, Environment” Maritime Knowledge Centre, Londres, 2012.
- INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA) “Renewable Energy Technologies: Cost Analysis Series. Hydropower” Working Paper, Volumen 1: Power Sector, Edición 3/5, Abu Dhabi, Junio 2012.

- MINISTRY OF THE RUSSIAN FEDERATION FOR ATOMIC Energy “Strategy Of Nuclear Power Development In Russia In The First Half Of The 21st Century” Moscú, 2000.
- NEW YORK STATE ENERGY RESEARCH AND DEVELOPMENT Authority (NYSERDA) “Comparison of Reported Effects and Risks to Vertebrate Wildlife From Six Electricity Generation Types in The New York/New England Region” NYSERDA, Albany, 2009.
- ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD) “Government and Nuclear Energy” OECD Publications, Paris, 2004.
- POMPER, Miles “The Russian Nuclear Industry: Status and Prospects” Nuclear Energy Futures Papers N°3, Enero 2009.
- RIBEIRO DE ANDRADE, Ana María; LOPES DOS SANTOS, Tatiane “Desafios Do Desenvolvimento Tecnológico Nuclear Autônomo” ANPUH – XXIII SIMPÓSIO NACIONAL DE HISTÓRIA – Londrina, 2005.
- RISTO, Tarjanne; AIJA, Kivistö “Comparison of Electricity Generation Costs” Lappeenranta University Of Technology, Lappeenranta, 2008.
- SEITOVIRTA, Laura Camilla “The Role of Strategic Intelligence Services in Corporate Decision Making” Aalto University, Department of Management and International Business, 2011.
- UNION OF THE ELECTRIC INDUSTRY (EURELECTRIC) “Efficiency in Electric Generation” Union of the Electricity Industry – EURELECTRIC, Bruselas, 2003.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR “Best Management Practices for Reducing Visual Impacts of Renewable Energy Facilities on BLM-Administered Lands” Bureau of Land Management, Wyoming 2013.
- VGB POWERTECH “Electricity Generation: Facts and Figures 2009/2010” VGB PowerTech, Essen, 2009.
- VGB POWERTECH “Electricity Generation: Facts and Figures 2013/2014” VGB PowerTech, Essen, 2013.
- WORLD BANK. “Environmental Assessment Sourcebook” World Bank Technical Paper, N° 139-140, Washington, 1991.
- WORLD ENERGY COUNCIL “2010 Survey of Energy Resources” World Energy Council, Londres, 2010.
- WORLD ENERGY COUNCIL “Captura y Almacenamiento de Carbono: Un Balance Provisional del WEC” World Energy Council, Londres, 2007.

Artículos de publicaciones

- BARREIRO, Eduardo y MASARIK, Guisela “Los Reservorios No Convencionales, un “Fenómeno Global” Revista Petrotécnica Año LIII, Abril 2011.
- BURGHERR, Peter y HIRSCHBERG, Stefan “A Comparative Analysis of Accident Risks in Fossil, Hydro, and Nuclear Energy Chains” Human and Ecological Risk Assessment, Vol. 14, N° 5, Londres, 2008.
- CÁRDENAS ZARDONI, Horacio y MULLER RODRIGUEZ, Ricardo “Secuestración de bióxido de carbono. ¿Ventaja estratégica para la producción de energía carboeléctrica? Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad, México, Marzo 2013.
- CASTRO, Jorge “Perspectivas de la Demanda Energética Global” Revista Petrotécnica, Año LI, Número 1-11, Buenos Aires, febrero 2011.
- DELGADO LINACERO, Cristina “El Toro en el Mediterráneo Antiguo” Revista Historia 16, N° 273, Enero, 1999.
- GAVIRIA RÍOS, Jorge Enrique; MORA GUZMAN, Jorge Hernán “Historia de los Motores de Combustión interna” Revista de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Antioquía N° 26, Antioquía, Junio 2002.
- HUBBERT, Marion King “Nuclear energy and the Fossil Fuels” Shell Development Company, Exploration and Production Research Division, Vol. 95, Houston, Junio 1956.
- KRIEGER, Wolfgang “The Germans and the nuclear Question” German Historical Institute, N° 14, Washington, 1995.
- MECKLIN, John “Introduction: US nuclear exit?” Bulletin of the Atomic Scientists, Año 69, Marzo 2013.
- MECKLIN, John “The German Nuclear Exit: Introduction” Bulletin of the Atomic Scientists, Año 68, Noviembre, 2012.
- O'BRIEN, Patrick “Provincializing the First Industrial Revolution” London School of Economics , Working Papers of the Global Economic History Network No. 17/06, Enero 2006.
- RADICELLA, Renato “Chernóbil: Los hechos” Revista CNEA N°27-28, Año 7, Julio-Diciembre 2007.

- RAMANA, M. V. “Nuclear Power and the Public” Bulletin of the Atomic Scientists, Año 67, Julio-Agosto 2011.
- SLIVYAK, Vladimir “Russia and Fukushima” Russian Analytical Digest N° 101, Agosto 2011.
- SMIL, Vaclav “World History and Energy” Encyclopedia of Energy, Volume 6, Elsevier, Winnipeg, 2004.
- WORLD ECONOMIC FORUM “Energy Vision 2013 Energy transitions: Past and Future” Enero 2013.

Artículos electrónicos

- “Formation of Atomic Theory”. Disponible en <http://www.t.soka.ac.jp/chem/iwanami/intorduct/ch01atomic.pdf>
- AHMED, Usman “Máximo Aprovechamiento de los Campos Petroleros Maduros” en http://www.slb.com/~media/Files/resources/oilfield_review/spanish04/aut04/editorial.pdf
- BRITISH PETROLEUM “BP Energy Outlook 2030” 2013. En http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/Energy-economics/Energy-Outlook/BP_Energy_Outlook_Booklet_2013.pdf
- CERI (Canadian Energy Research Institute) “World energy: The Past and Possible Futures” CERI, Calgary, 2008. Disponible en http://www.cna.ca/wp-content/uploads/CNA_CERI07_EN.pdf
- CHAUHAN, Richa, CANNAS, Claudio, KUMAR, Ashish “Breakthrough technology and incremental innovation in Oil and Gas Industry” en <http://www.iaasm.net/%5CUserFiles%5Cattach%5C201122111451343Cannas%20Richa%20Kumar.pdf>
- CORPORATE EUROPE OBSERVATORY (CEO) “Nuclear Contamination, A year after Fukushima, why does Brussels still back nuclear power?” Marzo 2012. Disponible en http://corporateeurope.org/sites/default/files/publications/nuclear_contamination_march_2012_0.pdf
- DORVAL, E.L. (et alt) “Análisis del accidente Ocurrido en el Conjunto Crítico RA-2”

- EUROBAROMETER “Energy Technologies: Knowledge, Perception, Measures” Special Eurobarometer n° 262, 2007 en http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_262_en.pdf
- EXXONMOBIL “Outlook for Energy A View to 2030” 2009. En http://www.mtshouston.org/outlook/outlook_2010/exxonmobil_outlook_for_energy.pdf
- FEHNER, Terrence, GOSLING F.G. “The Manhattan Project” Departamento de energía de Estados Unidos, Abril 2012. Disponible en <http://energy.gov/sites/prod/files/The%20Manhattan%20Project.pdf>
- FORO NUCLEAR “La Energía Nuclear en la Cobertura de la Demanda del Sector Eléctrico: Presente y Futuro.” 2008, en http://www.mapfre.com/documentacion/publico/i18n/catalogo_imagenes/grupo.cmd?path=1055658
- GABBARD, Alex “Coal Combustion Nuclear Resource or Danger” disponible en <http://web.ornl.gov/info/ornlreview/rev26-34/text/colmain.html>
- GEOTHERMAL ENERGY ASSOCIATION “The Values of Geothermal Energy” Octubre 2013, en http://www.geothermal.org/PDFs/Values_of_Geothermal_Energy.pdf
- GRIFFIN, Phillip “Photovoltaics: Progress in Materials and Technology” University of Tennessee, 2010, en http://sces.phys.utk.edu/~dagotto/condensed/HW1_2010/Griffin_Solar_Cells.pdf
- HIRSCH, Robert (et al) “Peaking of World Oil Production: Impacts, Mitigation, & Risk Management” 2005, en http://www.netl.doe.gov/publications/others/pdf/oil_peaking_netl.pdf
- INSTITUTO BALSEIRO, 2004, en <https://579e1ad9-a-62cb3a1a-sites.googlegroups.com/site/desastresecologicos/nucleares/1983-09-23-buenosaires/documentos/IB-AnalisisaccidenteRA-2.pdf>
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA) “Sustainable Development and Nuclear Power” disponible en <http://www.iaea.org/Publications/Booklets/Development/devseven.html>
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) “Fusion Brief for the IEA Governing Board Following the Signature of the ITER Agreement by Participating Governments on 21 November 2006” 2006 en <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/fusion.pdf>
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) “IEA Energy Technology Essentials, CO2 Capture & Storage” disponible en <http://www.iea.org/techno/essentials1.pdf>

- International Energy Agency IEA Wind “Long-Term Research And Development Needs For Wind Energy For The Time Frame 2012 To 2030” IEA, 2013, en http://www.ieawind.org/index_page_postings/100313/IEA%20Long%20Term%20R_D_Aproved%20July%2023%202013.pdf
- INTERNATIONAL GAS UNION (IGU) “Natural Gas Study to 2030. Enabling Solutions for Energy Demand and Environmental Challenges” 2009, en <http://www.igu.org/html/wgc2009web/admin/archivosNew/Special%20Projects/1.%20IGU%202030%20Report/1.%20IGU%202030%20FINAL%20Report.pdf>
- INTERNATIONAL RIVERS “Represas Sucias” 2009, en http://www.archivochile.com/Chile_actual/patag_sin_repre/03/chact_hidroy-3%2000001.pdf
- IPSOS, “Global Citizen Reaction to the Fukushima Nuclear Plant Disaster”, June 2011. Disponible en <http://www.ipsos-mori.com/Assets/Docs/Polls/ipsos-global-advisor-nuclear-power-june-2011.pdf>
- JINNAN, Wang “China National Energy Strategy and Policy 2020: Subtitle 6: Energy Environment and Its Public Health Impact”. En <http://www.nrac.wvu.edu/projects/sheia/publications/chinaenergypolicy2020.pdf>
- LEDERMAN, Luis “Seguridad de los Reactores RBMK: establecimiento del marco técnico” Boletín del OIEA, N° 1-1996. En http://www.iaea.org/Publications/Magazines/Bulletin/Bull381/Spanish/38102741017_es.pdf
- MALANIMA, Paolo “Energy in History” 2010. Disponible en http://www.paolomalanima.it/default_file/Articles/ENERGY%20IN%20HISTORY.pdf
- MEITNER, Lise “Aciertos y Desaciertos en torno a la Energía Nuclear” Disponible en http://www.iaea.org/Publications/Magazines/Bulletin/Bull040su/Spanish/04004790608su_es.pdf
- MOHR, S. H. & EVANS, G. M., “Long Term Forecasting of Natural Gas Production” 2011 en <http://epress.lib.uts.edu.au/research/bitstream/handle/10453/18079/2010002701.pdf?sequence=1>
- MORAGUES, Jaime; RAPALLINI, Alfredo “Energía Eólica” INSTITUTO ARGENTINO DE LA ENERGÍA (IAE), Buenos Aires, 2003. Disponible en http://www.iae.org.ar/renovables/ren_eolica.pdf

- NATIONAL HEALTH AND MEDICAL RESEARCH COUNCIL “Wind Turbines and Health” 2010, en https://www.nhmrc.gov.au/files_nhmrc/publications/attachments/new0048_public_statement_wind%20turbines_and_health.pdf
- NIJBOER, Michael “The Contribution of Natural Gas Vehicles to Sustainable Transport” International Energy Agency, Paris, 2010 en https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/natural_gas_vehicles.pdf
- ORGANIZACIÓN DE NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO) “Los animales de tiro ganan terreno” Enfoques, 2000. en <http://www.fao.org/ag/esp/revista/0009sp1.htm>
- PALAU YBARS, Antonio “La Sedimentación en Embalses. Medidas Preventivas y Correctoras” en http://www.ciccp.es/webantigua/icitema/comunicaciones/Tomo_1/T1p847.pdf
- PYKE, BILL “Global Energy Trends; 2030 to 2050” marzo de 2012, en <https://www.energyinst.org/uploads/documents/session-6-future-energy-trends-note-2012.pdf>
- REVISTA CABAL, “Litio, el combustible del futuro” en <http://www.revistacabal.coop/litio-el-combustible-del-futuro>
- RODRIGUEZ, Marcelino “Azar, Naturaleza y Arte en los Atomistas y en Platón” Universidad de Sevilla, 2008. Disponible en <http://dspace.unav.es/dspace/bitstream/10171/470/5/1.%20AZAR,%20NATURALEZA%20Y%20ARTE%20EN%20LOS%20ATOMISTAS%20Y%20EN%20PLAT%C3%93N,%20MARCELINO%20RODR%C3%8DGUEZ.pdf>
- ROLAND BERGER STRATEGY CONSULTANT “Nuclear worldwide: Where we stand 3 years after Fukushima”, marzo 2014, en http://www.rolandberger.com/media/publications/2014-04-02-rbsc-publication/Nuclear_Power_Trends.html
- SECRETARIA DE ENERGÍA “Energía Geotérmica”2010, en http://www.energia.gov.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/contenidos_didacticos/publicaciones/libro_energia_geotermica.pdf
- TECHNOPROMEXPORT “Construction of Hydro Power Plants” Moscú, 2012 en http://www.tpe.ru/en/pages/press/Hydro_Eng.pdf

- U.S. ENERGY DEPARTMENT – NUCLEAR ENERGY “Nuclear Energy Research and Development Roadmap. Report To Congress” DOE, Abril 2010, En http://energy.gov/sites/prod/files/NuclearEnergy_Roadmap_Final.pdf

Web

- Agencia Brasileño-Argentina de Contabilidad y Control de Materiales Nucleares http://www.abacc.org.br/?page_id=97&lang=es

- Association Québécoise de la Production d'énergie Renouvelable <http://en.aqper.com/index.php/faq-hydro/23-how-long-to-build-run-of-the-river-hydro-plant>

- British Petroleum http://www.bp.com/content/dam/bp/excel/Energy-Economics/statistical_review_of_world_energy_2013_workbook.xlsx
http://www.bp.com/content/dam/bp/excel/Energy-Economics/statistical-review-2014/BP-Statistical_Review_of_world_energy_2014_workbook.xlsx
<http://www.bp.com/en/global/corporate/about-bp/energy-economics/statistical-review-of-world-energy-2013/statistical-review-1951-2011.html>
<http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2015/bp-statistical-review-of-world-energy-2015-full-report.pdf>
<http://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>

<http://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2015/bp-statistical-review-of-world-energy-2015-full-report.pdf>

- Caithness Windfarm Information Forum <http://www.caithnesswindfarms.co.uk/accidents.pdf>

- Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) http://www.cnea.gov.ar/noticia.php?id_noticia=650
<http://www.cnea.gov.ar/proyectos/carem/index.php>

- Electronuclear <http://www.electronuclear.gov.br/aempresa/centralnuclear/angra3.aspx>

- European Nuclear Society <http://www.euronuclear.org/info/encyclopedia/f/fuelcomparison.htm>

- Geothermal.org <http://www.geothermal.org/bulletin.html>

- Gene Dannen's Home Page
<http://www.dannen.com/decision/handy.html>
- Greenpeace
http://www.greenpeace.org/espana/Global/espana/report/cambio_climatico/Fracking-GP_ESP.pdf
- Indexmundi
<http://www.indexmundi.com/g/g.aspx?c=ar&v=83&l=es>
- Infomine.com
<http://www.infomine.com/investment/metal-prices/uranium-oxide/all/>
- International Association for Natural Gas Vehicles – IANGV
<http://www.iangv.org/current-ngv-stats/>
- Instituto Argentino del Petróleo y del Gas
<http://www.iapg.org.ar/estadisticasnew/>
<http://www.iapg.org.ar/estadisticasnew/impoexporpais2.htm>
- International Commission on Large Dams
http://www.icold-cigb.org/GB/World_register/general_synthesis.asp
- Renewal Energy Journal
<http://montaraventures.com/energy/?cat=5&paged=2>
- National Energy Authority (Islandia)
<http://www.nea.is/geothermal/>
- Next Big Future
<http://nextbigfuture.com/2008/03/deaths-per-twh-for-all-energy-sources.html>
- Nucleoeléctrica S.A.
<http://www.na-sa.com.ar/quienessomos>
- Public Broadcasting Service
<http://www.pbs.org/wgbh/americanexperience/features/primary-resources/truman-hiroshima/>
- Power Tec Russia & Cis
<http://www.powertecrussia.com/blog/cogen-europe-2/>
- Rdmag.org
<http://www.rdmag.com/news/2014/06/new-nanoparticles-bring-cheaper-lighter-solar-cells-outdoors>
- ROSATOM

<http://www.rosatom.ru/en/>

<http://rosatomnewsletter.com/issue/52/Reactors-getting-ready-for-start-up/>

- Secretaría de Energía de la Nación

<http://www.energia.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3904>

<http://www.energia.gov.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=3881>

- Servicio Geológico Mexicano

<http://portalweb.sgm.gob.mx/economia/es/energeticos/precios-historicos/695-seguimiento-precio-del-petroleo-mezcla-mexicana-mme-datos.html#diario>

- Shale en Argentina

<http://www.shaleenargentina.org.ar/sismicidad-61#.Ux8lQYXPsdU>

- The Energy Library

<http://theenergylibrary.com/node/13072>

- The Oil & Gas Post

<http://www.oilgaspost.com/2013/05/21/top-40-oil-gas-companies-investment/>

- The Statistic Portal

<http://www.statista.com/statistics/217804/wind-energy-penetration-by-country/>

- The Wildlife News

<http://www.thewildlifenews.com/2014/08/24/ivanpah-thermal-solar-power-plant-produces-death-rays-torching-many-birds/>

- U.S. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA)

<http://www.eia.gov/countries/cab.cfm?fips=br>

<http://www.eia.gov/countries/cab.cfm?fips=RS>

<http://www.eia.gov/countries/country-data.cfm?fips=gm#tpe>

<http://www.eia.gov/countries/country-data.cfm?fips=GM&trk=m>

- Wind-works.org

<http://www.wind->

[works.org/cms/index.php?id=43&tx_ttnews%5Btt_news%5D=414&cHash=5a7a0eb3236dd3283a3b6d8cf4cc508b](http://www.wind-works.org/cms/index.php?id=43&tx_ttnews%5Btt_news%5D=414&cHash=5a7a0eb3236dd3283a3b6d8cf4cc508b)

- World Bank (Banco Mundial)

<http://databank.worldbank.org/data/views/reports/tableview.aspx>

- World-nuclear.org

<http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Others/Emerging-Nuclear-Energy-Countries/>

<http://www.world-nuclear.org/info/Energy-and-Environment/Energy-Balances-and-CO2-Implications/>

- Yacimientos Petrolíferos Fiscales (YPF)

<http://www.ypf.com/energiaypf/Paginas/que-es-shale.html>

Normativas

- Constitución Nacional Argentina

- Ley 26.190, “Regimen De Fomento Nacional Para El Uso De Fuentes Renovables De Energia Destinada A La Produccion De Energia Electrica” Diciembre 2006

- Ley 26.566 “De Actividad Nuclear”, Diciembre 2009.

- Acuerdo de Cooperación entre la CNEA y CNEN sobre el proyecto de nuevo reactor de investigaciones multipropósito, Buenos Aires, 31 de enero de 2011.

Revistas

- Bulletin of the Atomic Scientists, Año 69, Marzo 2013.

- Revista Petrotécnica, Año XL, N° 5, Octubre 2009.

- Revista CNEA, Año 10, N° 37-38, enero-junio 2010.

- Revista Petrotécnica, Año LIII, N° 2, Abril 2011.

- Revista U238, Año 1, N° 2, Octubre 2012.

- Revista U238, Año 1, N° 3, Diciembre 2012.

- Revista U238, Año 1, N°3, Diciembre 2012.

- Revista U238, Año 1, N° 5, Mayo 2013.

- Revista CNEA, Año 7, N°27-28, Julio-Diciembre 2007.

- Revista U238, Año 2, N° 7, septiembre-October 2013.

Artículos periodísticos

- “A menos de un mes del cambio de mando, el Gobierno firmó con China millonarios acuerdos nucleares” Diario Clarín, 16 de noviembre de 2015, en http://www.clarin.com/politica/Gobierno-millonarios-acuerdos-nucleares-China_0_1468053549.html

- “Argentina busca consolidar su rol como potencia nuclear. Irma Argüello da su opinión sobre el pasado, presente y futuro del desarrollo nuclear argentino” julio de 2014, en

<http://npsglobal.org/esp/prensa/npsglobal-en-los-medios/1581-argentina-busca-consolidar-su-rol-como-potencia-nuclear.html>

- “Argentina pasó autoabastecimiento y vender energía a depender de importaciones” *Ámbito Financiero*, 9 de febrero de 2014, en <http://www.ambito.com/noticia.asp?id=727875>
- ARGÜELLO, Irma “Argentina entre los grandes proveedores globales de reactores nucleares” *Diario Tiempo Argentino*, 24 de diciembre de 2014, en <http://tiempo.infonews.com/nota/141077/argentina-entre-los-grandes-proveedores-globales-de-reactores-nucleares>
- “Como se vive en los pueblos solares de la Puna” *Revista Viva*, 26 de Julio de 2015, en http://www.clarin.com/viva/Revista_Viva-paneles_solares-Puna_0_1400860038.html
- “Éxito del Vuelo Inaugural del Avión Solar Que Pretende Dar la Vuelta Al Mundo” *Diario La Vanguardia*, Barcelona, 2 de Junio de 2014, en <http://www.lavanguardia.com/natural/20140602/54409537290/vuelo-inaugural-avion-solar-solar-impulse-2.html>
- “La Argentina Energética, el Costo de Ser un País Importador” *El Cronista*, Buenos Aires, 3 de febrero de 2012, en <http://www.cronista.com/we/Argentina-energetica-el-costo-de-ser-un-pais-importador-20120203-0038.html>
- BÄR, Nora “Instalaron dos boyas frente a las costas patagónicas para medir la energía maremotriz” *Diario La Nación*, Buenos Aires, 16 de diciembre de 2014, en <http://www.lanacion.com.ar/1752811-boyas>
- HERRERA VEGAS, Rodolfo “La Energía Solar Térmica Busca Consolidar sus Avances” *Diario La Nación*, Buenos Aires, 26 de Mayo de 2014, en <http://www.lanacion.com.ar/1694050-la-energia-solar-termica-busca-consolidar-sus-avances>
- SMEDLY, Tim “Goodbye nuclear power: Germany's renewable energy revolution” *The Guardian*, Londres, 10 de mayo de 2013, en <http://www.theguardian.com/sustainable-business/nuclear-power-germany-renewable-energy>
- LOJO, Javier “Las importaciones de gas tocan un nuevo récord” *Diario Rio Negro*, Gral Roca, 12 de Enero de 2014, en http://www.rionegro.com.ar/diario/las-importaciones-de-gas-tocan-un-nuevo-record-1450020-10944-notas_eco.aspx

Tesis

- BARRETO RODRÍGUEZ, Juan Marcelo “Impacto Económico en el Sector Energético y Evaluación de Riesgos de la Extensión de vida de la Central Nuclear Embalse” Dirección Dr. Dino Otero, Tesis de Maestría en Administración de Negocios, UTN, Buenos Aires, 2011.